

Sistema de iluminación abdominal para cirugía laparoscópica basado en
micro robots



María Cristina Chaparro Velasco
Trabajo de grado de Maestría en Automática

Director
PhD. Óscar Andrés Vivas Albán

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Maestría en Automática
Popayán, abril de 2019

MARIA CRISTINA CHAPARRO VELASCO

SISTEMA DE ILUMINACIÓN ABDOMINAL PARA
CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA BASADO EN MICRO
ROBOTS

Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones de la
Universidad del Cauca para la obtención del
Título de
Magíster en:
Automática

Director:
PhD. Óscar Andrés Vivas Albán

Popayán
2019

A mi mamá, Ana Esmeralda y a mi papá, Juan Cristobal

Agradecimientos

A Dios. Ni en los momentos más difíciles me has dejado ir.

A mi mamá y mi papá. Por el apoyo incondicional.

A Darío, Jorge y Gabriel. Maravillosos amigos, su ayuda ha sido invaluable.

A mis eternas amigas del colegio. Cuando todo se nubló, ustedes me iluminaron.

A mis compañeros de maestría, esta aventura no hubiera sido lo mismo sin ustedes.

A mis compañeros de trabajo. Por la comprensión y los ánimos.

A mi director Andrés Vivas, a los profesores y guías de la Universidad del Cauca y la Universidad Miguel Hernández en España. Por orientarme y por la paciencia.

Resumen estructurado

- **Antecedentes:** la cirugía robótica ha avanzado durante los últimos años para mejorar procedimientos como los diferentes tipos de laparoscopia. La tendencia en la investigación sobre este tipo de cirugías es miniaturizar los elementos de las plataformas o diseñar pequeños asistentes robóticos. Entre estos se destacan los mini robots tipo cámara, pinza o los utilizados para iluminar la escena quirúrgica.
- **Objetivos:** en este proyecto se propone generar un algoritmo que proporcione una adecuada iluminación de la escena abdominal en operaciones de laparoscopia utilizando mini robots, interpretar la escena generada con una herramienta gráfica que utilice técnicas de análisis de imagen para estudiar las sombras generadas por los robots luz y evaluar el comportamiento de la herramienta generada en un entorno real compuesto por dos brazos robóticos que con imanes manipulan los mini robots luz.
- **Métodos:** se desarrolló una herramienta software con Unity3D, que simula el interior de un abdomen y se le agregó la luz nueva: un mini robot tipo luz anclado magnéticamente a la pared abdominal. El mini robot tendrá dos movimientos diferentes para iluminar la escena, uno dependerá del movimiento del endoscopio y otro del análisis de imagen realizado. Se realizó una encuesta de opinión a médicos de diferentes especialidades para conocer su apreciación sobre la herramienta software.
- **Resultados:** los dos tipos de movimientos propuestos iluminan porciones similares de la escena quirúrgica. El movimiento realizado con el análisis de imagen no iluminará a menos que haya cambios de iluminación significativos en la escena. En la encuesta la mayoría de los médicos prefirieron el movimiento dependiente del endoscopio.
- **Conclusiones:** Unity3D es un programa útil para este tipo de simulaciones. El movimiento dependiente del endoscopio ilumina porciones más amplias de la cavidad abdominal. Se sugiere analizar la escena con otros algoritmos y realizar pruebas de funcionamiento en un entorno real.

Palabras clave: iluminación, micro robótica, mini robot, robótica quirúrgica, Unity3D

Structure abstract

- **Background:** robotic surgery has advanced in recent years to improve procedures such as different types of laparoscopy. The trend in research on this type of surgery is to miniaturize the elements of the platforms or design small robotic assistants. Among these are the mini camera-type robots, tweezers -type robots or those used to illuminate the surgical scene.
- **Aims:** in this project it is propose to generate an algorithm that provides an adequate illumination of the abdominal scene in laparoscopic operations using mini robots, interpret the scene generated with a graphic tool that uses image analysis techniques to study the shadows generated by light type-robots and evaluate the behavior of the tool generated in a real environment composed of two robotic arms that manipulate the light robots with magnets.
- **Methods:** a software tool was developed with Unity3D, which simulates the inside of an abdomen and a new light was added: a light-type mini robot magnetically anchored to the abdominal wall. The mini robot will have two different movements to illuminate the scene, one will depend on the movement of the endoscope and another on the image analysis performed. An opinion poll was made to doctors of different specialties to know their appreciation of the software tool.
- **Results:** the two types of proposed movements illuminate similar portions of the surgical scene. The movement made with the image analysis will not illuminate unless there are significant changes of lighting in the scene. In the survey, most physicians preferred movement dependent on the endoscope.
- **Conclusions:** Unity3D is a useful program for this type of simulations. The dependent movement of the endoscope illuminates wider portions of the abdominal cavity. It is suggested to analyze the scene with other algorithms and make performance tests in a real environment.

Keywords: lighting, micro robotics, mini robot, surgical robotics, Unity3D.

Contenido

Contenido	xiii
Lista de Figuras	xv
Lista de tablas	xvii
Capítulo 1	19
Introducción	19
1.1 Introducción	19
1.2 Planteamiento del problema	22
1.3 Objetivos	22
Capítulo 2	25
Estado del arte	25
2.1 Técnicas quirúrgicas para cirugía abdominal.....	25
2.2 Robótica quirúrgica	28
2.3 Robótica en miniatura aplicada a la medicina.....	28
2.4 Retos de la iluminación durante la aplicación de mini robots en cirugías mínimamente invasivas	31
Capítulo 3.....	35
Construcción de la herramienta	35
3.1 Descripción general del ambiente.....	35
3.2 Diseño del entorno gráfico	37
3.4 Funcionamiento de la herramienta software	49
Capítulo 4.....	59
Pruebas y resultados	59
4.1 Pruebas con la herramienta software y con la representación del entorno real.....	59
4.2 Resultados	78
4.4 Encuesta de opinión	80
Capítulo 5.....	87
Conclusiones y trabajos futuros	87
5.1 Conclusiones	87
5.2 Trabajos futuros	88
Bibliografía	91
Anexos	95

Anexo A.....	95
Código del movimiento del robot.....	95
Anexo B.....	101
Código del histograma	101
Anexo C	107
Cuestionario. Encuesta de opinión.....	107
Anexo D	109
Carta de la UMH.....	109

Lista de Figuras

Figura 1. Semiesfera	36
Figura 2. Representación de los dos escenarios.....	36
Figura 3. Esquema general	37
Figura 4. Componentes del laboratorio de pruebas de la Universidad Miguel Hernández.....	38
Figura 5. Interfaz de Blender con el entorno 1	39
Figura 6. Entorno 1.....	40
Figura 7. Entorno 2.....	40
Figura 8. Escena importada a Unity.	41
Figura 9. Disposición de las luces en Unity3D: a1 y a2. Luces laterales, b. mini robot tipo luz, c. endoscopio.....	43
Figura 10. Representación del endoscopio en una laparoscopia	44
Figura 11. Representación de las luces sujetas magnéticamente.....	44
Figura 12. Escena completa.....	45
Figura 13. Interfaz gráfica.	46
Figura 14. Teclado y ratón para manipular la herramienta.....	48
Figura 15. Ventana de la cavidad abdominal	49
Figura 16. Punto de vista cirugía laparoscópica convencional [52].....	49
Figura 17. Diagrama general del movimiento geométrico	50
Figura 18. Cálculo de las ecuaciones.....	51
Figura 19. Esquema del movimiento geométrico	52
Figura 20. Diagrama general del movimiento automático	53
Figura 21. Etapa 1. Capturar imagen.	54
Figura 22. Etapa 3. Cálculo de coordenadas.	56
Figura 23. Proyección de las coordenadas	57
Figura 24. Cuadrícula.....	60
Figura 25. Escenario construido como representación del entorno real.....	62
Figura 26. Dos tipos de linternas.....	62
Figura 27. Comparación tipos de luces.	63
Figura 28. Caja de cartón.....	63
Figura 29. Primera imagen de prueba.....	65
Figura 30. Esquema de cuadrícula para la primera imagen de prueba.....	66
Figura 31. Segunda imagen de prueba.....	67
Figura 32. Esquema de cuadrícula para la segunda imagen de prueba.	68
Figura 33. Tercera imagen de prueba.....	69
Figura 34. Esquema de cuadrícula para la tercera imagen de prueba.....	70
Figura 35. Cuarta imagen de prueba.....	71
Figura 36. Esquema de cuadrícula para la cuarta imagen de prueba.....	72
Figura 37. Quinta imagen de prueba.....	73
Figura 38. Esquema de cuadrícula para la quinta imagen de prueba.....	74

Figura 39. Sexta imagen de prueba.	75
Figura 40. Esquema de cuadrícula de la sexta imagen de prueba.....	76
Figura 41. Séptima imagen de prueba.	77
Figura 42. Esquema de cuadrícula de la séptima imagen de prueba.....	78
Figura 43. Sexo de los encuestados.	81
Figura 44. Ciudades de residencia.....	81
Figura 45. Respuesta primera pregunta.	82
Figura 46. Respuesta segunda pregunta.	83
Figura 47. Respuesta a la tercera pregunta.	83
Figura 48. Respuesta cuarta pregunta.	84
Figura 49. Respuesta quinta pregunta.	85

Lista de tablas

Tabla 1. Relación de puntos iluminados para la primera imagen de prueba.	64
Tabla 2. Relación de puntos iluminados para la segunda imagen de prueba.	66
Tabla 3. Relación de puntos iluminados para la tercera imagen de prueba.	68
Tabla 4. Relación de puntos iluminados para la cuarta imagen de prueba.	70
Tabla 5. Relación de puntos iluminados para la quinta imagen de prueba.	72
Tabla 6. Relación de puntos iluminados para la sexta imagen de prueba.	74
Tabla 7. Relación de puntos iluminados para la séptima imagen de prueba.	76

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se hace una introducción general sobre la robótica quirúrgica, se plantea el problema y se muestran los objetivos.

1.1 Introducción

Durante los últimos años, la medicina ha evolucionado rápidamente para generar beneficios tanto a pacientes como a médicos. Entre los avances más reconocidos se destaca la MIS (cirugía mínimamente invasiva, por sus siglas en inglés), un recurso que se creó para evitar realizar incisiones grandes y profundas en el cuerpo de los pacientes. Esta técnica está ampliamente difundida y entre sus ventajas se encuentra la disminución del tiempo de recuperación del paciente, reducción del riesgo de hemorragias y menores costos hospitalarios [1]. El tipo de cirugías que se realizan con esta técnica son muy variadas y entre estas se destaca la laparoscopia, que se ha utilizado en pacientes de todas las edades.

La laparoscópica es un procedimiento en el cual, a través de pequeñas incisiones, el experto introduce un endoscopio en el abdomen obteniendo una imagen de los órganos en un monitor [2]. A través de estas incisiones el médico procede

introduciendo por los trocares diferentes elementos tales como pinzas, tijeras, cauterizadores, entre otros, junto con el endoscopio [3].

La cirugía laparoscópica se destaca por las ventajas mencionadas, pero también tiene varias desventajas como la entrega de visión en solo dos dimensiones, poco sentido de profundidad, y posiciones muy incómodas y tensionantes para el cirujano [1] [4] quien se ve afectado, además, por los largos tiempos de las cirugías y la poca maniobrabilidad de los instrumentos. Ante estos inconvenientes la robótica ha ofrecido varias soluciones entre las que se destaca el robot quirúrgico Da Vinci [1], el cual ofrece mayor comodidad al cirujano al proveerlo de una consola donde estará sentado y desde la cual manipulará múltiples instrumentos que filtrarán el temblor y mejorarán la maniobrabilidad de estos. Las ventajas del Da Vinci también se reflejan en los pacientes que tienen mayor seguridad en sus cirugías y menor tiempo de recuperación.

En la Universidad del Cauca el desarrollo de la robótica médica se ha dado a través del grupo de investigación en Automática Industrial, el cual ha realizado investigación, diseño y desarrollo en las dos áreas principales de la robótica médica: de rehabilitación y quirúrgica.

Este grupo ha desarrollado dos robots para cirugía mínimamente invasiva, el robot LapBot [5] y el robot Hibou [6], además de un simulador quirúrgico [7] y un guante háptico [8], entre otros. Sin embargo, apenas está iniciando en la investigación de la micro robótica aplicada a la medicina, lo que permite ampliar más el rango de investigación y realizar un aporte significativo al avance tecnológico de la región.

Los mini robots quirúrgicos se han presentado como una propuesta para solucionar los inconvenientes que presentan las grandes plataformas además de generar nuevas ventajas a los cirujanos durante procedimientos como NOTES (cirugía endoscópica transluminal por orificios naturales, por sus siglas en inglés) o LESS (laparoendoscopia por puerto único) lo que se vería reflejado positivamente en el paciente [9] [10] [11].

La Universidad Miguel Hernández de Elche, España, a través del grupo de investigación NBIO (Neuroingeniería Biomédica), actualmente trabaja con una plataforma conformada por dos brazos robóticos que sostienen magnéticamente

mini robots asistentes de cirugía. Esta plataforma robótica fue parte del proyecto MARCUS (*Micro Abdominal Robot Cooperative System*) cuyo objetivo es conceder al cirujano nuevos instrumentos robóticos que faciliten su trabajo [12]. En este proyecto se diseñaron mini robots tipo cámara, luz y pinza, se trabajó con una interfaz de realidad aumentada y con un sistema robótico completo para asistir laparoscopias por puerto único. El desarrollo de este sistema se enfocó en el funcionamiento de los mini robots cámara y pinza, mientras que el mini robot tipo luz solo se utilizó para proveer la iluminación necesaria sin profundizar en su funcionamiento y las posibles ventajas o retos que puede generar tanto para el cirujano como para el paciente [12] [10] [11].

Con base en lo anterior, en este proyecto se pretende generar un algoritmo para manipular un mini robot de tipo luz que estará magnéticamente unido a la pared abdominal, de tal forma que se encuentre una configuración adecuada para iluminar una escena.

Para realizar esto también se creará una herramienta gráfica que permitirá ver el comportamiento del mini robot luz en un ambiente simulado.

El uso y la demanda de robots quirúrgicos se está incrementando y con esto se están evidenciando las ventajas de miniaturizar los instrumentos y asistentes robóticos [15]. La intención de realizar investigaciones alrededor de los mini robots asistentes de cirugía en general y los mini robots tipo luz en particular es seguir la tendencia tecnológica que prevé que los robots quirúrgicos irán disminuyendo su tamaño por lo que deberán ser fáciles de manipular, de ubicar en el interior del cuerpo humano, y por esta miniaturización tenderán a disminuir sus costos [16]. Además, esta tendencia llevará a reducir considerablemente el uso de grandes componentes en los asistentes robóticos [15] y podrá mejorar la cirugía laparoscópica al superar algunas de sus limitaciones [17]. Finalmente, se debe destacar que la iluminación es una parte fundamental de cualquier procedimiento quirúrgico y los procedimientos realizados con robots no son la excepción.

1.2 Planteamiento del problema

Los mini robots quirúrgicos son propuestos para servir como asistentes durante cirugías, especialmente en al área abdominal. Entre las funciones que se proponen para estos mini robots se destaca la de ser utilizados para iluminar completamente dicha área siendo sujetados magnéticamente a través de la pared abdominal, esto, utilizando brazos robóticos que serán manipulados externamente. Algunos mini robots tipo luz han sido utilizados en experimentos in vivo como parte de sistemas cooperativos para realizar cirugías por orificios naturales. En estos experimentos se mostró la idoneidad de usar este tipo de mini robots pues proveen iluminación adecuada [9]. Una de las razones que se esgrimen al proponer la adición de iluminación a través de mini robots es facilitar al cirujano su manipulación para acomodarlas según sus preferencias y evitar sombras indeseadas que pueden disminuir visibilidad o afectar la sensación de profundidad [18]. Sin embargo, validaciones realizadas a un asistente robótico camarógrafo con un sistema de iluminación led han mostrado que al cirujano le incomoda el brillo de estas luces por los reflejos que producen durante el procedimiento [14]. Aunque existen propuestas de simuladores quirúrgicos que permiten al cirujano saber cómo será su escena antes de un procedimiento asistido por robots, éstas no han estudiado la incidencia de los mini robots tipo luz en la cavidad [12] [14] [18].

Con base en lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo generar un algoritmo que permita que mini robots anclados magnéticamente a la pared abdominal provean la mejor iluminación al espacio operatorio del cirujano?

1.3 Objetivos

Se presentan los objetivos formulados para dar respuesta a la pregunta de investigación planteada.

1.3.1 Objetivo general

- Generar un algoritmo que proporcione una adecuada iluminación de la escena abdominal en operaciones de laparoscopia utilizando mini robots.

1.3.2 Objetivos específicos

- Interpretar la escena generada con una herramienta gráfica que utilice técnicas de análisis de imagen para estudiar las sombras generadas por los robots luz.
- Evaluar el comportamiento de la herramienta generada en un entorno real compuesto por dos brazos robóticos que con imanes manipulan los mini robots luz.

Capítulo 2

Estado del arte

En este capítulo se presenta una recopilación de artículos sobre robótica quirúrgica enfocada en diferentes técnicas para cirugía laparoscópica, así como investigaciones sobre los retos de la iluminación durante este tipo de procedimientos y las diferentes propuestas que hay al respecto.

2.1 Técnicas quirúrgicas para cirugía abdominal

Durante los últimos años, la medicina ha evolucionado rápidamente para generar beneficios tanto a pacientes como a médicos. Entre los avances más reconocidos se destacan tres procedimientos de cirugía abdominal: MIS, NOTES y LESS.

2.1.1 MIS

La MIS (*minimally invasive surgery*), es un recurso que se creó a finales de los 80 [19] como alternativa a la cirugía convencional y se caracteriza por permitir ver el lugar que se va a operar sin necesidad de realizar incisiones grandes y profundas en el cuerpo de los pacientes, esto gracias a que se vale

de pequeños cortes a través de las cuales se introducen los instrumentos y una cámara que transmite las imágenes a una pantalla por la cual el cirujano observa el procedimiento que está realizando. Esta técnica está ampliamente difundida y sus ventajas y desventajas ya han sido mencionadas en el capítulo 1.

2.1.2 NOTES

NOTES (*Natural orifice transluminal endoscopic surgery*) es un procedimiento menos invasivo que la laparoscopia, pues es realizado a través de orificios naturales (boca, vagina, recto, uretra) y tiene muchas aplicaciones como peritoneoscopia transgástrica y transvesical, ligadura de trompas transvaginal, histerectomía y colecistectomía [3]. Los procedimientos en humanos utilizando esta técnica se iniciaron entre 2006 y 2007, aunque los experimentos con animales empezaron desde 2002 [20]. Para realizar este procedimiento se deben utilizar otro tipo de instrumentos como endoscopios flexibles que comúnmente se utilizaban para realizar procedimientos más sencillos que una cirugía.

Entre las ventajas de este tipo de cirugía se destaca la no existencia de cicatrices, reducción del dolor, menos complicaciones, carácter ambulatorio, reducción de riesgo de infección y formación de hernias, y menor tiempo de recuperación [7]. Sin embargo, también presenta varias desventajas como la necesidad de utilizar instrumentos costosos, riesgo de perforar otros órganos en el camino, hemorragias [10], infecciones y visibilidad limitada [7]. Para solucionar los inconvenientes de este procedimiento, la robótica ha demostrado tener el potencial necesario para mejorar esta técnica a través del diseño de robots miniatura modulares que pueden mejorar la experiencia del cirujano al colaborar con la visión, estabilidad y manipulación [21], también se han diseñado plataformas como MASTER (*master and slave transluminal endoscopic robot*) que busca expandir la retroalimentación

sensorial y aumentar la destreza del usuario aumentando las capacidades NOTES [15]. Por otro lado, el sistema ViaCath está diseñado exclusivamente para este procedimiento. Es un robot endoscópico teleoperado con una interfaz háptica e instrumentos intercambiables que proporcionan precisión durante el procedimiento y aumenta la maniobrabilidad [15] [22] [23].

2.1.3 LESS

La laparoendoscopia por puerto único (*Laparoendoscopic Single Sit*) es un procedimiento intermedio entre MIS y NOTES, la cual se realiza como su nombre lo indica, a través de una única incisión abdominal de aproximadamente 1,5 cm, generalmente umbilical, por donde ingresa cámara e instrumentos quirúrgicos. Para esto, a través de la incisión umbilical se pueden colocar varios trocares o trocares especiales de varias entradas, que están en continuo desarrollo y se han vuelto uno de los puntos de investigación en el desarrollo de instrumentos quirúrgicos. LESS es utilizada para realizar diferentes procedimientos como apendicetomía, colecistectomía, prostatectomía radical, histerectomía y cistectomía radical entre otros (Laparo-endoscopia por acceso único: experiencia inicial). Además de las ventajas que ya tiene la laparoscopia tradicional, esta técnica presenta menor daño al tener menos incisiones, disminución del dolor, menor riesgo de infección, rápida recuperación y mejor aspecto estético, sin embargo, introduce nuevos retos ya que produce disminución de la triangulación, transposición y colisión de los instrumentos quirúrgicos y vista en línea de estos, lo que disminuye la habilidad del cirujano al complicar un procedimiento que con otra técnica puede ser muy sencillo [9].

2.2 Robótica quirúrgica

La robótica ha evolucionado para facilitar y mejorar la vida de las personas. Desde robots industriales hasta asistentes de hogar forman parte de los objetos electrónicos que son comunes en empresas y hogares. Desde hace casi 30 años la robótica inició el proceso de introducirse al campo de la medicina ofreciendo soluciones y mejoras a dos ramas importantes de esta ciencia: la rehabilitación y la cirugía. Así, la robótica médica está compuesta principalmente por tres áreas de aplicación: robótica quirúrgica, robótica de rehabilitación y robótica asistencial [24].

La robótica quirúrgica nació para dar solución a inconvenientes presentados durante y después de las cirugías como riesgo de hemorragias, recuperación tardía o incomodidad del cirujano. La idea es tener a un robot dentro del quirófano que mejore las habilidades del cirujano sin reemplazarlo y que sea una herramienta que pueda utilizarse cómodamente y aumente las ventajas de las diferentes técnicas quirúrgicas.

Se han diseñado robots quirúrgicos para diversos tipos de cirugías en las áreas de la neurología, la ortopedia, la cardiología y la cirugía abdominal. Esta última ha sido el área de la cirugía que se ha visto más beneficiada por el continuo desarrollo de los robots quirúrgicos.

2.3 Robótica en miniatura aplicada a la medicina

El campo de estudio de la robótica en miniatura es la micro robótica. Como su nombre lo indica, el estudio se centra en robots de tamaño y dimensiones menores a un milímetro o en aquellos que pueden manipular objetos milimétricos. El nombre micro robot se ha ampliado a todo robot de tamaño pequeño, pero de acuerdo a un tamaño específico también se puede hablar de mini robots. Los robots miniatura empezaron a ser estudiados hace relativamente poco tiempo gracias a la aparición del microcontrolador que permitió la miniaturización de diferentes equipos electrónicos. Esto permitió que la robótica en miniatura tuviera un desarrollo

vertiginoso en los últimos años al disminuir los costos de fabricación. Así, cada vez más grupos de investigación han enfocado sus esfuerzos en diseñar y construir pequeños robots que puedan utilizarse en aplicaciones militares, de construcción, vigilancia y en el campo de la salud. Los robots miniatura pueden ser de varios tipos: terrestres, nadadores, voladores y de enjambre (que puede ser conformado por cualquiera de los tipos indicados), y dependiendo de sus características físicas se podrían utilizar en los diferentes campos de estudio mencionados [25] [26].

En medicina, aunque los grandes asistentes robóticos quirúrgicos como el Da Vinci han representado múltiples avances en la cirugía laparoscópica, aún muestran inconvenientes relacionados con su gran tamaño, su manipulación, el difícil acceso a algunas partes del cuerpo humano y su alto costo. Mirando la evolución de la tecnología hacia el futuro existen muchos vectores de desarrollo que reemplazarán o complementarán los robots asistenciales. Entre estos se plantea el uso de micro robots para solucionar los problemas de acceso a lugares complejos en las cirugías, mejorar los tratamientos contra el cáncer y las biopsias, y disminuir la incomodidad, el dolor y el tiempo de recuperación del paciente [27].

En varios centros de investigación alrededor del mundo diversos mini robots biomiméticos enfocados en asistencia y tratamientos médicos han sido desarrollados, tomando como referencia gusanos, bacterias, espermatozoides o sanguijuelas [28] [29]. También se han considerado y desarrollado robots en forma de pastillas, cuyo principal inconveniente es la falta de control sobre sus movimientos [30]. Varios de estos mini robots han sido probados en animales mostrando sus múltiples ventajas [31], sin embargo, aún no han sido aprobados para ser utilizados en humanos.

Los esfuerzos actuales están enfocados en diseñar mini robots aptos para funcionar en un ambiente hostil como es el cuerpo humano, puesto que uno de los mayores obstáculos de esta área es la locomoción dentro de un organismo vivo [32]. Además, otro inconveniente es la falta de control de los movimientos de un mini robot. La solución más innovadora y reciente es el uso de campos magnéticos (imán externo que guía al mini robot interno) para tener un mayor control sobre estos,

disminuir aún más su tamaño y evitar gastos extras en actuadores u otros elementos [25].

Al respecto se han venido desarrollando y se han propuesto múltiples tipos de mini robots magnéticos, que pretenden ser una solución a problemas como la falta de espacio en el área abdominal al realizar los procedimientos quirúrgicos [33], y la generalización de cirugías abdominales por una sola entrada o por orificios naturales. Dependiendo del tipo de procedimiento que asistan, estos mini robots magnéticos pueden ser tipo cámara [34] [35], pinza [36], fuente de iluminación [35] o dispositivos para realizar biopsias [30]. Sus diseños se han basado en la tecnología de anclaje magnético [37], la cual ha permitido el diseño de instrumentos que pueden ser manipulados con imanes externos al cuerpo sin generar daño a los tejidos del paciente [31], y además su utilización ha generado varias ventajas frente a procedimientos convencionales como la laparoscopia [38].

Una de las tecnologías de anclaje magnético más utilizadas en procedimientos quirúrgicos como LESS y NOTES es el sistema de guía y anclaje magnético MAGS [33]. Este sistema puede soportar diversos instrumentos, como cámaras, luces, pinzas, cauterizadores, pequeñas herramientas para mover órganos sin dañarlos, y también instrumentos desplegados los cuales han servido de base para el diseño de mini robots [39]. También mejora la triangulación, la visibilidad, ergonomía y la carga de trabajo percibida por los cirujanos [40]. Entre sus desventajas se encuentra la curva de aprendizaje lenta que tiene pues es una tecnología reciente y aún requiere de muchos experimentos para mejorar la práctica y la experiencia del médico.

Los robots miniatura en la medicina se pueden utilizar para asistir cirugías o para diagnosticar y algunos pueden corregir problemas de visibilidad y accesibilidad.

Una aplicación de los robots miniatura en la medicina que está siendo investigada es el área de la asistencia quirúrgica. Para que un mini robot sea adecuado para asistir a un cirujano durante un procedimiento debe ser lo bastante pequeño para entrar en el cuerpo humano, pero también de un tamaño tal que pueda ser observado y manipulado por los cirujanos. Es así como se proponen robots plegables, los cuales pueden entrar al cuerpo a través de una incisión muy pequeña

u orificio natural y una vez adentro se despliegan a su tamaño original, donde podrán ser utilizados como cámara, luz o incluso pinza, y generarán mayor seguridad al cirujano y por los tanto al paciente. Uno de estos mini robots asistentes fue desarrollado por la Universidad de Nebraska, Estados Unidos, y probado in vivo. Consiste en una plataforma con un trípode plegable que contiene una cámara y luces led, además puede girar 360 grados e inclinarse 45 grados. Su diseño está pensado para asistir cirugías laparoscópicas y el cirujano puede activarlo desde el exterior por medio de un interruptor [39]. Este mismo grupo de investigación mejoró el mini robot plegable al agregarle ruedas, y posteriormente creando nuevas versiones inalámbricas [27].

2.4 Retos de la iluminación durante la aplicación de mini robots en cirugías mínimamente invasivas

Al utilizar mini robots como asistentes para iluminar cirugías laparoscópicas se debe tener en cuenta los efectos de la luz en la escena, cómo actúa la reflexión, cómo afecta el tipo de iluminación y cómo cambian las sombras.

La iluminación durante una cirugía laparoscópica convencional está dada por una fibra óptica que generalmente se ubica en el centro del endoscopio, su diámetro es de aproximadamente 11 mm y la distancia entre la fuente de iluminación y el objetivo del endoscopio puede variar entre 40 mm y 100 mm. También se pueden introducir varias fuentes de iluminación que pueden mejorar la orientación quirúrgica o tener diferentes canales de iluminación como es el caso del endoscopio del robot DaVinci [41]. Estas características, como se ha mencionado anteriormente, pueden afectar la visión periférica del cirujano o la velocidad aparente del movimiento de los instrumentos además de disminuir la sensación de profundidad, entre otros [42]. Dentro de la cavidad abdominal, la iluminación puede verse afectada por varias razones como sombras y reflejos especulares, obstrucción de la visibilidad por humo o sangre o por texturas de fondo [43].

Un inconveniente que se debe prever constantemente es la reflexión (difusa o especular) en las imágenes obtenidas durante la laparoscopia. En las cirugías es más común la reflexión especular que se ve en instrumentos quirúrgicos y tejidos húmedos. La reflexión especular puede ser más fuerte cuando la luz incide frontalmente sobre la superficie a tratar, lo que puede generar molestias a los cirujanos durante el diagnóstico o los procedimientos quirúrgicos, además de afectar potenciales aplicaciones tecnológicas como la realidad aumentada [44] [45].

Sin embargo, aunque cause inconvenientes, la reflexión especular no debe eliminarse totalmente pues es útil cuando se trata de ver la geometría de la imagen durante las operaciones, es decir, es útil para el cirujano [46].

De la misma forma que la reflexión especular puede ayudar al cirujano durante una laparoscopia, también lo pueden hacer las sombras que utilizadas de forma adecuada pueden mejorar el desempeño del cirujano, al darle una mejor idea de la profundidad o al resaltar la imagen [42].

Lo anterior se menciona para cirugías laparoscópicas convencionales, sin embargo, muchas investigaciones tecnológicas se están llevando a cabo para mejorar la calidad de la imagen dentro de la cavidad abdominal, mejorar la percepción de profundidad e incluso la retroalimentación del cirujano durante los procedimientos de cirugía laparoscópica tanto convencionales como robóticas. Ante esto la presencia de sombras o reflexión especular en exceso son algunos de los inconvenientes que se quieren solucionar.

Existen varios algoritmos y métodos que pueden solucionar la presencia de reflexiones indeseables, pero consumen muchos recursos computacionales. Otro tipo de propuestas se orientan hacia la variación del tipo de iluminación en la escena, y aunque parecen ser eficientes, su aplicación en las cirugías no es factible pues afecta directamente la calidad de la imagen que ve el cirujano [46].

Ante esto, desde la ingeniería se están estudiando formas de optimizar la calidad de la imagen y ayudar a mejorar el desempeño del cirujano con propuestas como el cambio del tipo de iluminación o un posicionamiento diferente de una o varias luces dentro de la cavidad abdominal. Entre estas propuestas se destaca la de cambiar la fibra óptica convencional por una iluminación hecha con LEDs, lo que genera

muchas ventajas como sombras más nítidas, mejor iluminación, mayor intensidad de imagen o menor parpadeo [47].

Desde hace casi una década, se propone el uso de plataformas miniatura que ubican en la pared abdominal varios tipos de instrumentos como cámaras, luces o pinzas [48]. Esta solución propone introducir los instrumentos por un trocar convencional de 12 mm y ubicarlos en la pared abdominal utilizando una sutura, la luz se puede ajustar desde el panel de control y la cámara se puede manipular a través de un joystick. Se demuestra que el uso de estas plataformas tiene ventajas sobre la cirugía laparoscópica convencional o a través de puerto único, especialmente en el tiempo del procedimiento y el alcance de los instrumentos.

Las luces siempre están ligadas a las cámaras, es por esto que la mayoría de la literatura citada habla de mejorar, diseñar o anclar magnéticamente cámaras. Muchos de los rediseños de estas cámaras incluyen luces tipo LED que suelen ser muy similares a las luces convencionales utilizadas en cirugía laparoscópica [49]. Utilizar este tipo de iluminación parece ser suficiente y se destaca que lo que buscan los autores es mejorar no solo la calidad de la imagen sino reemplazar el endoscopio convencional para evitar conflictos de este con los otros instrumentos quirúrgicos. Se afirma, que la iluminación dentro de un entorno quirúrgico debe ser eficiente y uniforme para garantizar la nitidez de la imagen y que debe exceder la intensidad luminosa mínima para que las cámaras estén en condiciones adecuadas de trabajo [50].

Al proponer una ubicación nueva para la cámara y las luces en una cirugía MIS o LESS los investigadores no solo quieren promover un nuevo tipo de visión e iluminación sino también solucionar otros inconvenientes como la afectación de la nitidez de la imagen cuando los lentes del endoscopio se “ensucian” en parte debido a la diferencia de temperatura entre la sala de cirugía y el interior del paciente, algo muy común en las cirugías laparoscópicas convencionales. Estos mismos autores muestran que la calidad de la imagen puede mejorar al utilizar una configuración de luces LED sujetas magnéticamente a la cavidad abdominal lo que permite reducir las sombras dentro de esta. Además, este diseño no tiene las luces fijas al lado de

la cámara lo que permite que se enfoquen en un área determinada y proporcionen una iluminación de mayor calidad [51.].

Este trabajo propone una configuración donde una luz esté fija magnéticamente a la cavidad abdominal y sea manipulada externamente por un robot. El movimiento de la cámara es independiente de dicha luz. Además, se mantiene la luz del endoscopio y en la herramienta software se agregan dos luces más que estarán ubicadas lateralmente.

Capítulo 3

Construcción de la herramienta

En este capítulo se describe el procedimiento que se siguió para construir la herramienta software, los lenguajes utilizados y la lógica implementada.

3.1 Descripción general del ambiente

La herramienta propuesta busca implementar el movimiento de un mini robot tipo luz sujetado magnéticamente el cual es un componente del sistema del laboratorio de la UMH en España (Figura 3).

Para el desarrollo de esta herramienta se utilizaron los programas Blender y Unity3D, los lenguajes C# y Python y la librería de visión artificial OpenCV.

En una cirugía laparoscópica convencional el estómago es insuflado con CO₂ hasta formar una semiesfera (Figura 1), por otro lado, en la representación del laboratorio de la UMH el estómago está representado por una caja de acrílico (Figura 4). Por lo tanto, se consideró realizar para la herramienta software una aproximación de la cavidad abdominal tomando en cuenta los dos escenarios para la implementación del movimiento del robot (Figura 2). Se requiere que el movimiento del robot no interfiera, entorpezca o agregue dificultad al procedimiento realizado por el cirujano. El movimiento del robot debe ser natural, como una consecuencia de la interacción del médico con la herramienta



Figura 1. Semiesfera

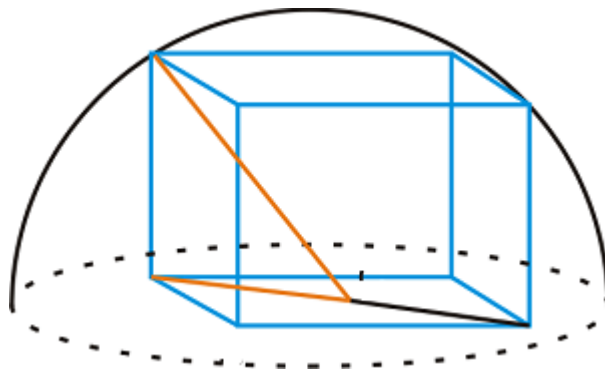


Figura 2. Representación de los dos escenarios

Como el espacio de trabajo es reducido se plantean dos alternativas de movimiento: una es iluminar las zonas oscuras que deja el endoscopio y la otra es automáticamente identificar las zonas oscuras sin depender del endoscopio. Ante esto se debe tener en cuenta en dónde se debería ubicar el mini robot luz para lograr estas alternativas de movimiento. Para la primera se utiliza la ubicación de la parte lateral de la semiesfera y para la segunda en el valle de la semiesfera. Al primer movimiento se le denomina geométrico porque el movimiento del robot es el resultado de una función en el espacio dependiente del movimiento del endoscopio y el segundo será automático porque es resultado de la identificación de la zona más oscura y no depende directamente del movimiento endoscopio.

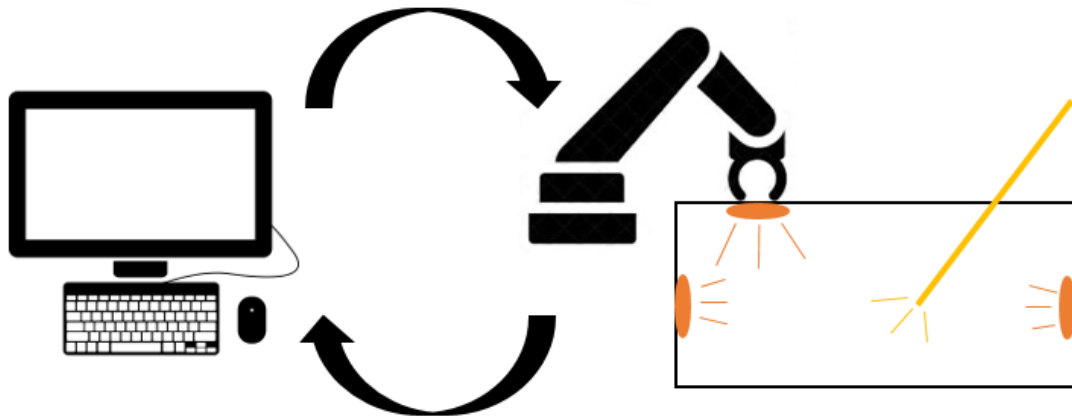


Figura 3. Esquema general

3.2 Diseño del entorno gráfico

Se ha creado un entorno gráfico que simula el interior de la cavidad abdominal con un hígado y una vesícula. Este se ve afectado por un nuevo tipo de iluminación generado por el conjunto de mini robots tipo luz, lo cual genera nuevos retos respecto a la iluminación tradicional realizada con un endoscopio.

Para poder simular el comportamiento de las nuevas luces y cómo estas afectan la escena se debe contar con características cercanas a la realidad, como el color de los órganos, el brillo de la luz de ambiente o la rugosidad de la capa baja del abdomen. Este entorno se desarrolló con base en el laboratorio del grupo NBIO de la Universidad Miguel Hernández de Elche, España donde se realizó una estancia académica de dos meses. El laboratorio cuenta con una plataforma robótica cuyo principal componente son los dos brazos robóticos que permiten el anclaje de mini robots a la pared abdominal, simulada en este caso por una caja de acrílico forrada en un material especial que es similar a la piel humana (Figura 4).

3.2.1 Blender

Para realizar la base del estómago y los órganos se utilizó el programa Blender, un software libre de código abierto que sirve, entre otros, para modelar, diseñar y animar gráficos tridimensionales.

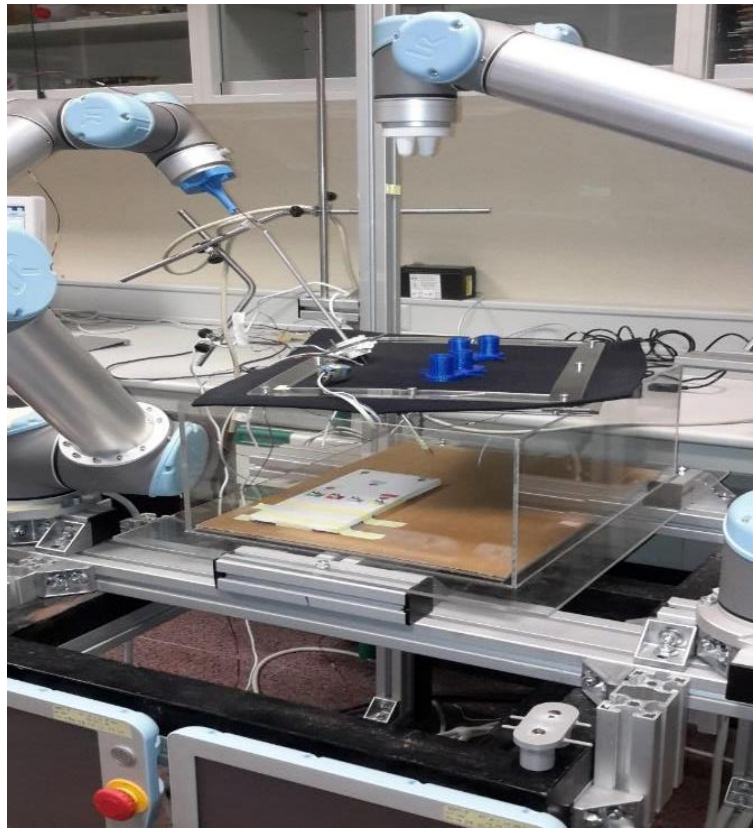


Figura 4. Componentes del laboratorio de pruebas de la Universidad Miguel Hernández

Los objetos centrales del entorno son un hígado y una vesícula biliar que están ubicados sobre una capa rugosa que simula ser el lecho de la cavidad abdominal. Además, se agregaron tres luces que representaban dos luces fijas (que pueden moverse a un lugar deseado) y una móvil.

Con Blender (Figura 5) se crearon dos entornos. Ambos tienen los mismos objetos centrales (hígado y vesícula) que están ubicados sobre una capa rugosa que simula ser el lecho de la cavidad abdominal. Además, tienen agregadas las tres luces (dos fijas y una móvil).

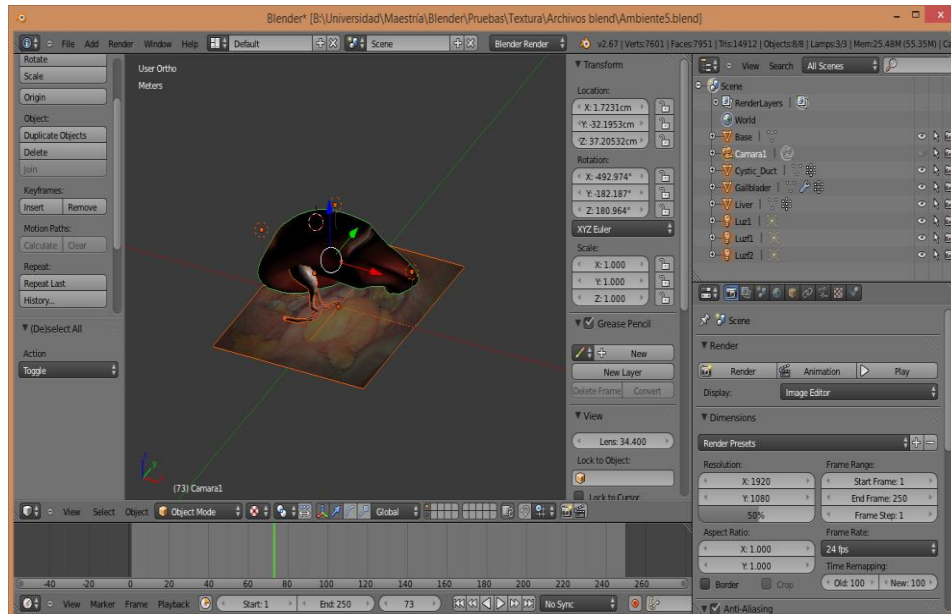


Figura 5. Interfaz de Blender con el entorno 1

La principal diferencia de cada entorno radica en la caja contenedora donde están ubicados los órganos. Existen dos tipos de cajas contenedoras que se pueden simular, una es una caja de acrílico transparente como la mostrada en la Figura 4 y la otra es una caja oscura a la cual no entra la luz externa. Esta última caja se simuló como una opción más apegada a lo que sucedería en una cirugía real pero como no es utilizada en el laboratorio, no se usó tampoco en la herramienta software final. En el “Entorno 1” (Figura 6) se muestran los órganos sin paredes que los rodeen. Este entorno simula la caja de acrílico transparente mencionada y a la cual se le adhieren los magnetos que sujetarán las luces. Esta caja al ser transparente, hace que la escena sea afectada por luz del ambiente. Por otro lado, se encuentra el “Entorno 2”

(Figura 7), donde el órgano se encuentra dentro de una caja oscura que se caracteriza por no ser afectada por la luz del ambiente.

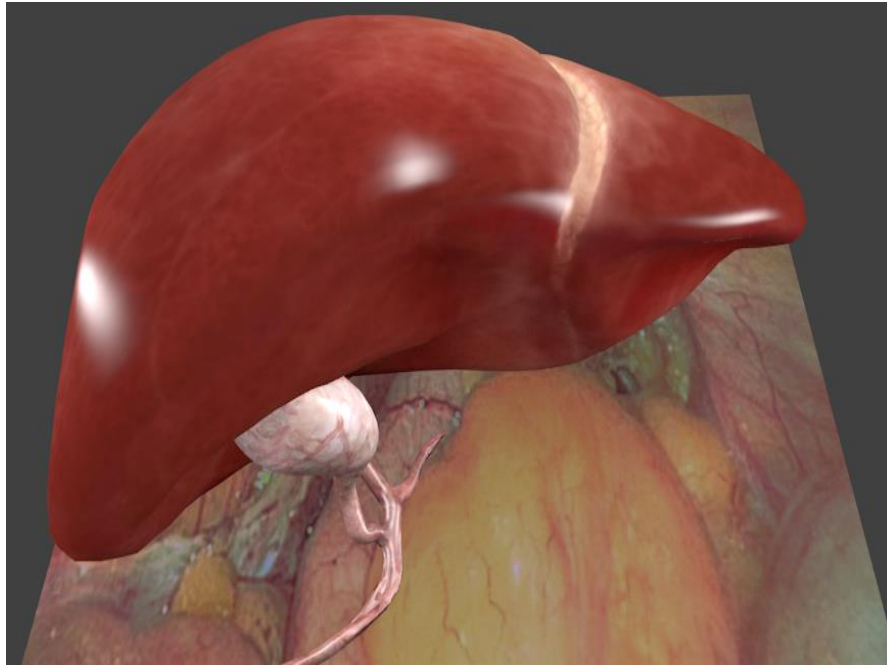


Figura 6. Entorno 1.

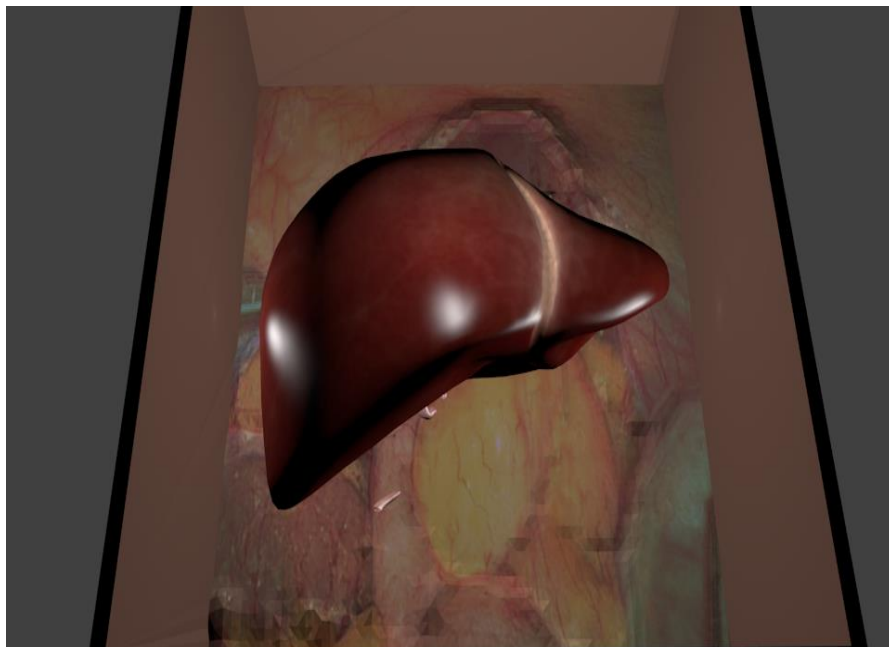


Figura 7. Entorno 2.

3.2.2 Unity3D

Unity3D es un motor de juego multiplataforma. Ha sido diseñado para crear videojuegos y simulaciones. Se escogió para realizar la herramienta software porque no es complicado de utilizar, tiene una comunidad activa que permite resolver dudas en poco tiempo, su motor de física puede ser muy realista, soporta gráficos 2D y 3D y es compatible con Blender, por lo que se pudo aprovechar el trabajo de diseño hecho previamente.

Para utilizar en Unity3D la escena diseñada en Blender se deben guardar los ficheros con extensión *.blend* en la carpeta Assets del proyecto que se va a trabajar en Unity.

Una vez importada la escena quirúrgica a Unity se deben agregar las mismas texturas utilizadas en Blender. De esta forma, se podrá trabajar en Unity con una escena equivalente a la diseñada en Blender (Figura 8).

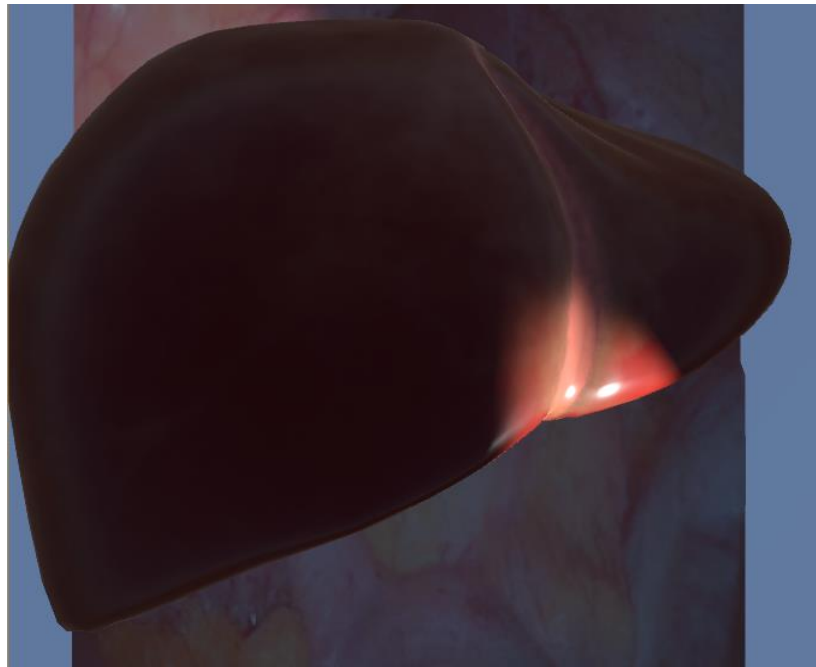


Figura 8. Escena importada a Unity.

Ya en Unity, se pueden agregar todas las características necesarias de la escena quirúrgica.

3.3 Descripción de la escena en Unity3D

Interior del estómago: como se mencionó anteriormente, el interior del estómago es importado desde Blender (Figura 5). Se escogió el hígado y la vesícula porque la operación más realizada por medio de laparoscopia es la colecistectomía que consiste en la extracción de la vesícula. El interior del estómago está compuesto por los siguientes elementos:

Base: la cual tiene una textura que imita el interior del abdomen. Esta base tiene pequeños relieves para darle realismo a la escena, especialmente durante la iluminación pues estos relieves o pliegues provocan sombras. El tamaño de la base diseñada en Blender es igual al tamaño de la base de acrílico que se usa en el laboratorio de la UMH, la cual se midió en el mismo laboratorio y tiene unas dimensiones de 35 cm de ancho por 45 cm de largo.

Hígado: diseñado en Blender basándose en un hígado convencional. La textura corresponde a un hígado sano.

Vesícula: diseñada en Blender. Corresponde a una vesícula convencional y sana.

Iluminación: es la parte fundamental e innovadora de la escena. Está compuesta por la luz del endoscopio convencional, la luz del mini robot que se agregó como propuesta de este trabajo y dos luces más que pueden fijarse inicialmente en los costados del estómago. La ubicación de estas luces en la escena de Unity se muestra en la Figura 9.

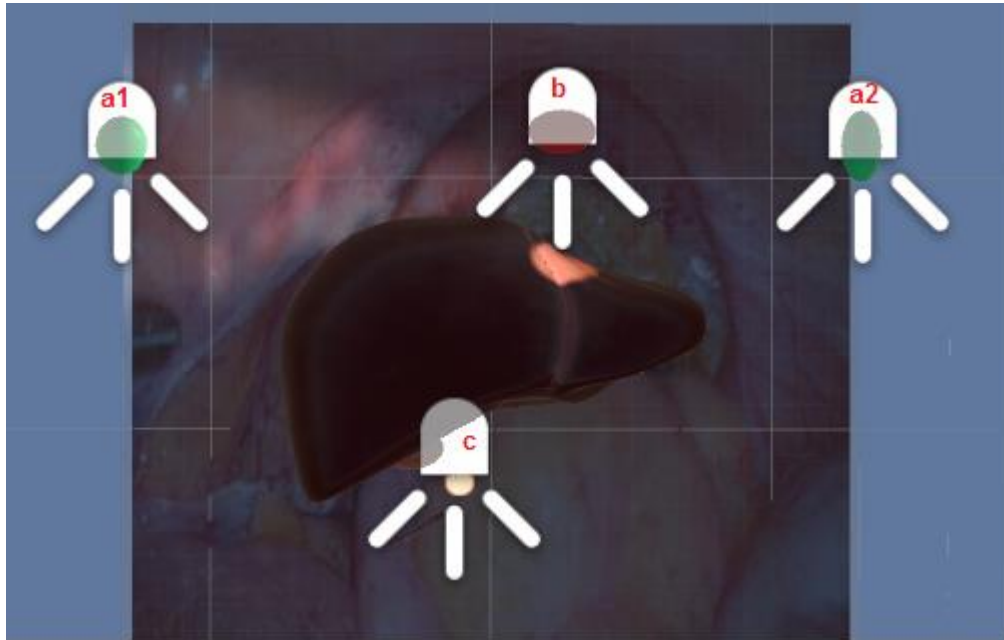


Figura 9. Disposición de las luces en Unity3D: a1 y a2. Luces laterales, b. mini robot tipo luz, c. endoscopio.

Endoscopio: la luz que se puede manipular en la escena corresponde al endoscopio. Esta es manejada con el teclado y representa la luz convencional utilizada en una cirugía laparoscópica. En este caso solo se ve la luz, pues no se representó el endoscopio físicamente (Figura 10).

Mini robot luz: es la nueva luz agregada en este proyecto. Está sujetado magnéticamente a la pared abdominal. Ofrece una nueva iluminación que sirve de apoyo al cirujano durante la operación (Figura 11).

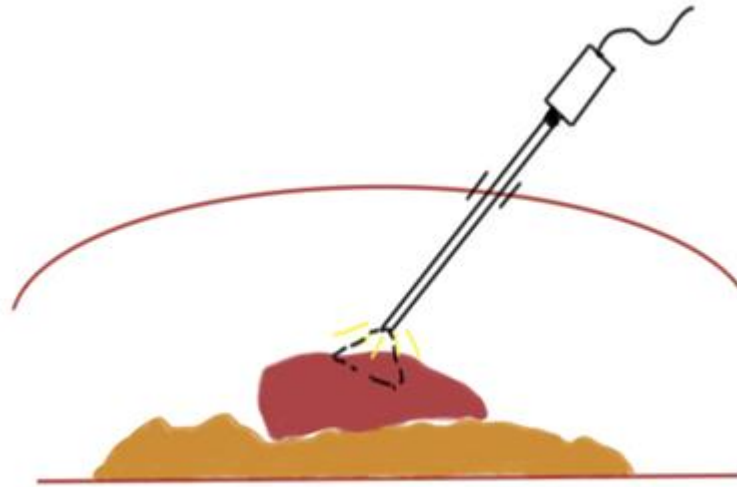


Figura 10. Representación del endoscopio en una laparoscopia

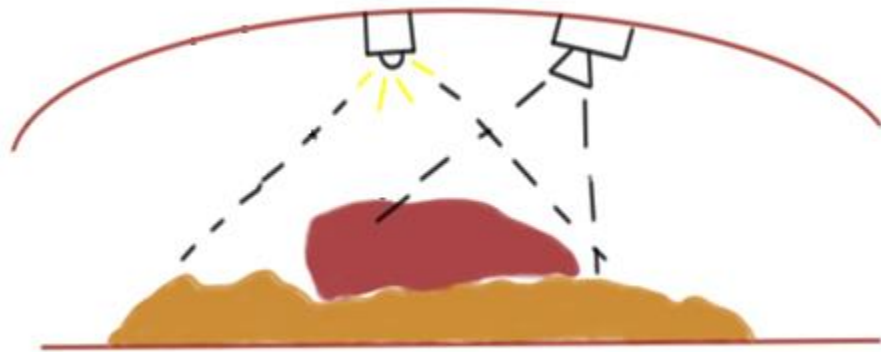


Figura 11. Representación de las luces sujetas magnéticamente.

Cámara: permite tener un punto de vista similar al del cirujano durante una laparoscopia convencional. A través de esta cámara, se puede ver un espacio reducido de la escena quirúrgica. Su movimiento es independiente del movimiento del endoscopio y del mini robot. La imagen que toma se puede ver en la parte derecha de la interfaz.

Ventanas de la interfaz: a través de estas se observan las acciones que tienen lugar dentro de la escena y que son afectadas por análisis de imagen o elementos que representan lo que sucede en el interior del estómago simulado (Figura 12).



Figura 12. Escena completa.

Ventana de interfaz de usuario: a través de esta ventana (Figura 13) se observa de lejos el interior de la escena quirúrgica. Contiene los botones para manipular las características de la escena y permite ver las diferentes luces que están representadas por esferas de colores.

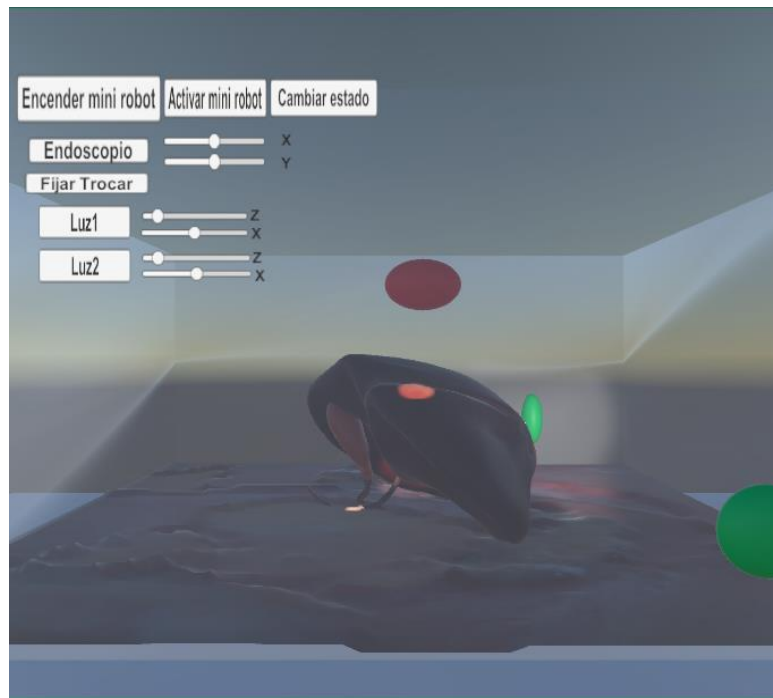


Figura 13. Interfaz gráfica.

La esfera roja representa la luz del mini robot, mientras que las dos esferas verdes representan las luces laterales fijas.

Los botones permiten encender las luces, pausar el movimiento del mini robot o cambiar el estado del movimiento. A continuación, se describen los botones de la interfaz:

- Encender mini robot: este botón permite encender o apagar la luz del mini robot. El movimiento del mini robot no se ve afectado por esto.
- Activar mini robot: Detiene el movimiento del mini robot independientemente del estado en el que se encuentre.
- Cambiar estado: permite cambiar el estado del movimiento del mini robot de “geométrico” a “automático”.
- Endoscopio: permite encender o apagar la luz del endoscopio.

- Fijar trocar: como su nombre lo indica, permite fijar el trocar en un punto fijo, esto implica que la luz del endoscopio podrá girar, pero no moverse a través de la escena.
- *Sliders* del endoscopio: estos *sliders* permiten mover el trocar por toda la escena en los ejes X, Y, esto da la impresión de que es la luz la que se mueve por toda la escena. Se bloquean con el botón “Fijar Trocar”.
- Luz1: este botón permite encender y apagar una de las luces laterales (desde el punto de vista de la interfaz, es la luz del fondo).
- *Sliders* de la Luz 1: permiten mover la luz 1 por la pared lateral, en los ejes X y Z.
- Luz2: este botón permite encender y apagar una de las luces laterales (desde el punto de vista de la interfaz, es la luz del frente).
- *Sliders* de la Luz 2: permiten mover la luz 2 por la pared lateral, en los ejes X y Z.

Con las teclas WASD se puede mover la luz del endoscopio con el efecto de giro que le daría el trocar. Se escogieron estas teclas y no las flechas del teclado por comodidad para manipular la herramienta pues en este caso se requiere el uso del ratón y el teclado para manipular todas las características de la escena (Figura 14). Se mueve en el plano XZ.



Figura 14. Teclado y ratón para manipular la herramienta

La cámara del usuario se puede mover con el ratón en todas las direcciones, girar y alejarse de la escena.

Ventana de la cavidad abdominal: esta ventana (Figura 15) muestra la simulación de la cavidad abdominal desde un punto de vista quirúrgico, es por esto que se ve solo un parte del órgano pues en las cirugías laparoscópicas convencionales el punto de vista del endoscopio no es muy amplio (Figura 16).

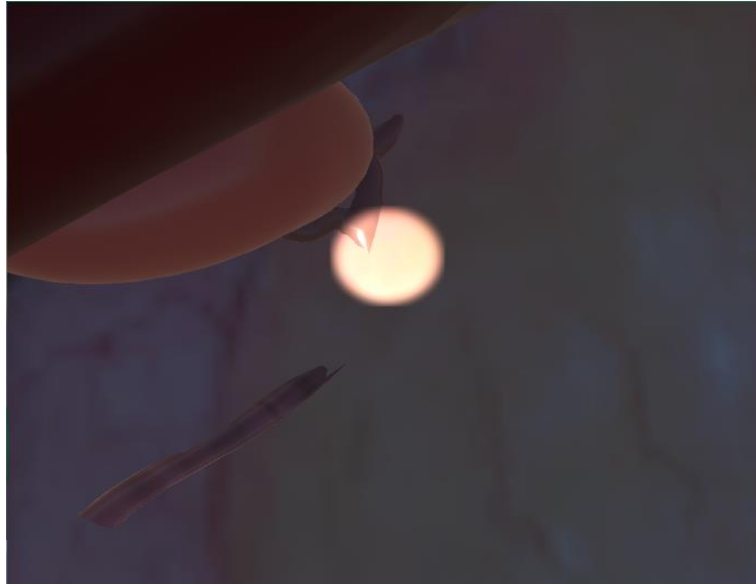


Figura 15. Ventana de la cavidad abdominal

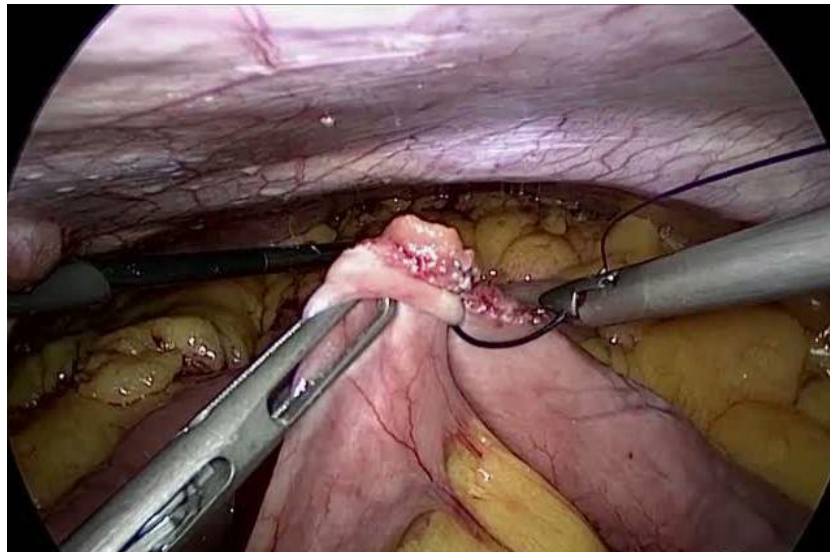


Figura 16. Punto de vista cirugía laparoscópica convencional
[52]

3.4 Funcionamiento de la herramienta software

La herramienta software permite manipular los elementos mencionados en el anterior apartado de tal forma que el usuario pueda mover el endoscopio, el mini robot luz las luces fijas y la cámara. La herramienta se desarrolló en Unity3D y se

utilizaron los lenguajes C# y Python además de la librería OpenCV de visión artificial.

Con esta herramienta se pretende mejorar la iluminación dentro de la cavidad abdominal mediante el uso del mini robot luz, el cual tiene dos tipos de comportamiento, un movimiento geométrico (Figura 17) dependiente del movimiento del endoscopio y un movimiento automático (Figura 20) que ilumina la sección mas oscura de la escena.

3.4.1 Movimiento geométrico

Este movimiento se establece bajo las premisas mencionadas en el capítulo 3, descripción de la herramienta.

El mini robot luz se desplaza en un eje circular cuyo ángulo de rotación es proporcional al movimiento del endoscopio. Esto con el fin de brindar una iluminación complementaria, iluminando las zonas alejadas a la luz brindada por el en endoscopio.

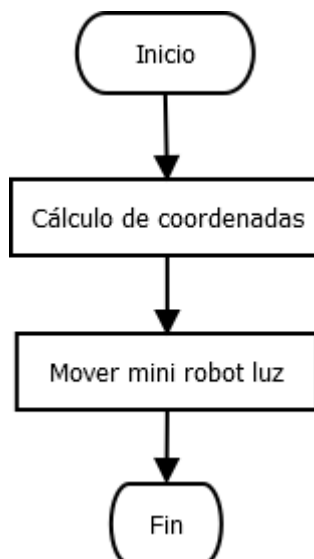


Figura 17. Diagrama general del movimiento geométrico

3.4.1.1 Cálculo de coordenadas geométricas.

Se calcula la coordenada geométrica donde el robot realizará su desplazamiento, esta, se calcula sobre un eje circular, donde el ángulo de rotación es proporcional al movimiento del endoscopio (Figura 18) (Anexo A).

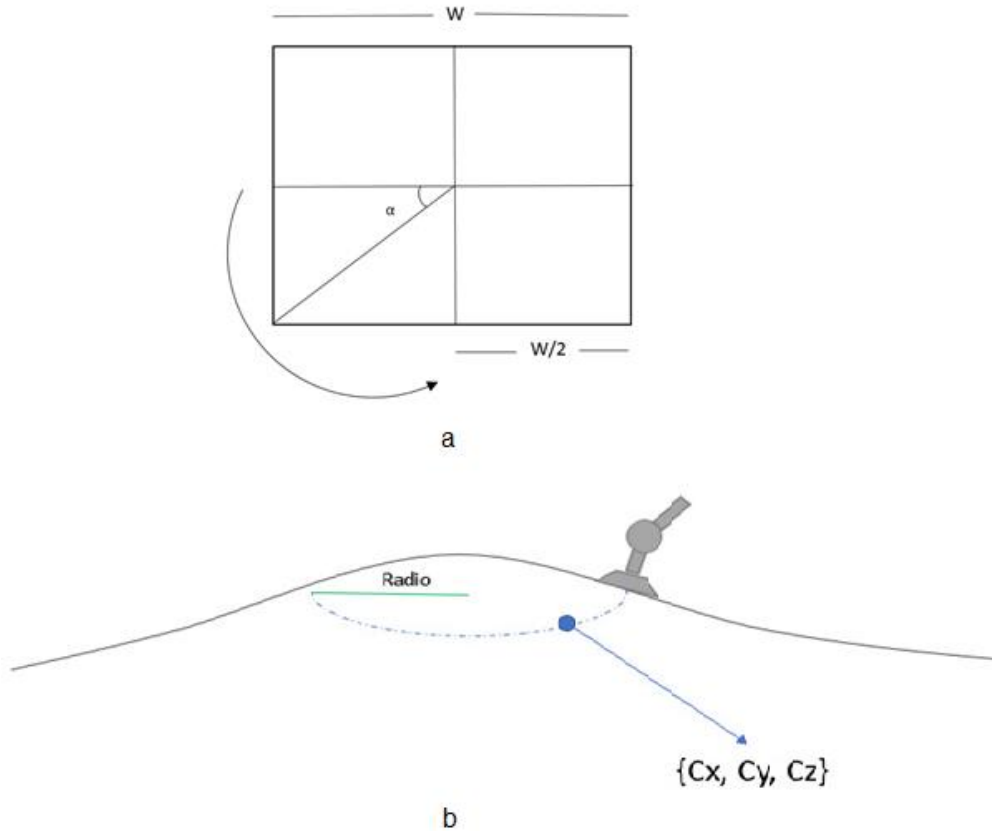


Figura 18. Cálculo de las ecuaciones

En la figura 18a, W es el ancho de la pantalla que muestra el interior de la cavidad abdominal y es observada por el usuario, el ángulo alfa muestra el movimiento del mini robot tipo luz siguiendo la circunferencia mostrada en la figura 18b.

Cuando el endoscopio se mueve hacia la derecha, el robot gira a la izquierda y viceversa.

$$radio = constante \quad [3.1]$$

$$\alpha = \left(x * \frac{\pi}{2}\right) / \frac{W}{2} \quad [3.2]$$

$$C_x = -radio * \cos \alpha \quad [3.3]$$

$$C_y = radio * \sin \alpha \quad [3.4]$$

$$C_z = conocido \quad [3.5]$$

W, radio y Cz (altura) son conocidos. Estos dos últimos dependen de la posición inicial del mini robot. X es la posición del endoscopio, por lo que es variable.

3.4.1.2 Movimiento del mini robot luz

Una vez se obtiene la coordenada, se desplaza el mini robot luz de tal forma que ilumine un área complementaria, la cual queda oscura cuando el endoscopio se aleja (Figura 19). Este movimiento solo podrá pausarse a través de los botones de la interfaz gráfica.

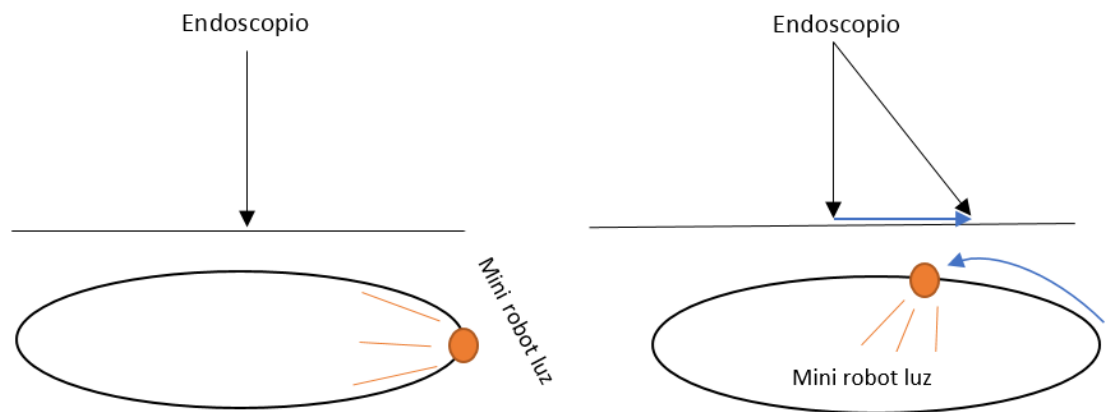


Figura 19. Esquema del movimiento geométrico

3.4.2 Movimiento automático

Este movimiento se establece bajo las premisas mencionadas en el capítulo 3, descripción de la herramienta.

Con este movimiento, el mini robot luz ilumina el punto más oscuro en la escena, independientemente del movimiento del endoscopio. Este movimiento está ligado directamente al análisis de imagen pues es a través de este análisis que se encontrará el punto más oscuro.

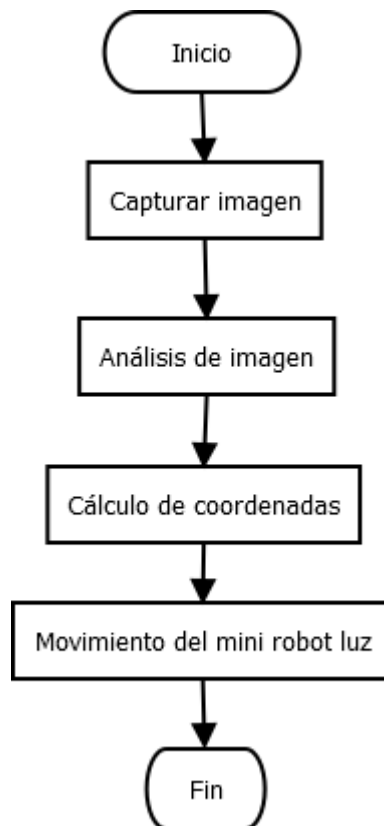


Figura 20. Diagrama general del movimiento automático

3.4.2.1 Capturar imagen (Figura 21).

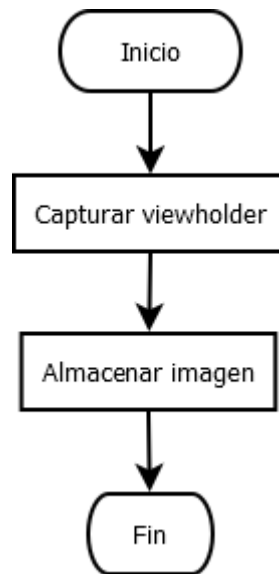


Figura 21. Etapa 1. Capturar imagen.

Para conseguir que el mini robot luz se mueva automáticamente a un punto determinado se debe analizar una imagen de la escena quirúrgica. Para lograr lo anterior el primer paso es capturar la imagen de la pantalla visible (*ViewHolder*). Esta imagen corresponde a la vista de la cavidad abdominal (Figura 15). *Viewholder* corresponde al espacio visible por la cámara del endoscopio, donde se captura una imagen total de la cámara cada cierto tiempo la cual se almacena en el directorio local para su análisis y procesamiento.

3.4.2.2 Análisis de imagen

Una vez almacenada la imagen, se procede a identificar el punto más oscuro, para esto se pasa la imagen a escala de grises y se obtiene su respectivo histograma. El histograma es un gráfico que da una idea general sobre la distribución de la intensidad en una imagen [53] [54] [55]. Al histograma se le calcula el porcentaje de luz para conocer cuál es la zona oscura de la imagen (Anexo B).

Para conseguir esto se calcula el paso de rejilla S (Ecuación 3.6):

$$S = \sqrt{\frac{N}{k}} \quad [3.6]$$

Donde N es el número de píxeles (ancho x alto) y k el número de regiones en que se desea dividir. Después se obtienen los puntos (x,y) de cada región y se calcula el histograma. Al histograma se le aplica la ecuación 3.7:

$$L_k = \sum_{x=0}^{255} \frac{N_x}{T_s} * X_p \quad [3.7]$$

Donde L es el porcentaje de luz en un área k , X la posición en el histograma, N_x el número de píxeles asignados a la intensidad de la luz X , T_s el total de píxeles en la posición k y X_p el porcentaje de luz de la posición X en el histograma.

Finalmente, se asigna a cada centro el porcentaje de luz L .

3.4.2.3 Cálculo de coordenadas (Figura 22).

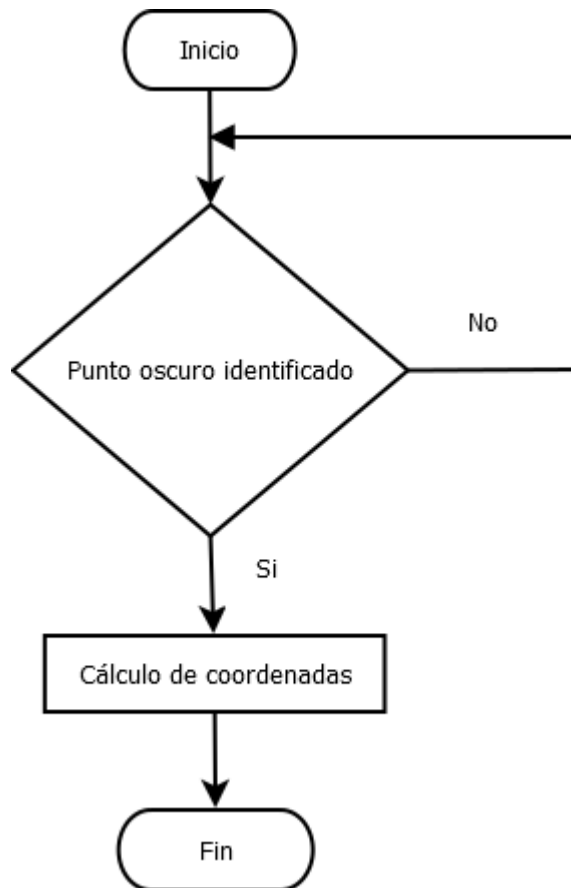


Figura 22. Etapa 3. Cálculo de coordenadas.

El punto más oscuro (x,y) calculado en el paso anterior solo se obtiene cuando se haya capturado la imagen de la escena o si las condiciones de la imagen (iluminación) han hecho que ese punto ya no sea el mismo. Una vez el punto oscuro en la imagen es identificado se procede a calcular las coordenadas de este en el escenario 3D (a,b,c), para esto se proyecta el punto del *ViewHolder* en el escenario y se calculan las coordenadas en el espacio (Figura 23). La transformación de coordenadas se realiza porque el robot se mueve en un mundo 3D y el punto más oscuro se identifica a través de un plano que es la pantalla observada o *ViewHolder*.

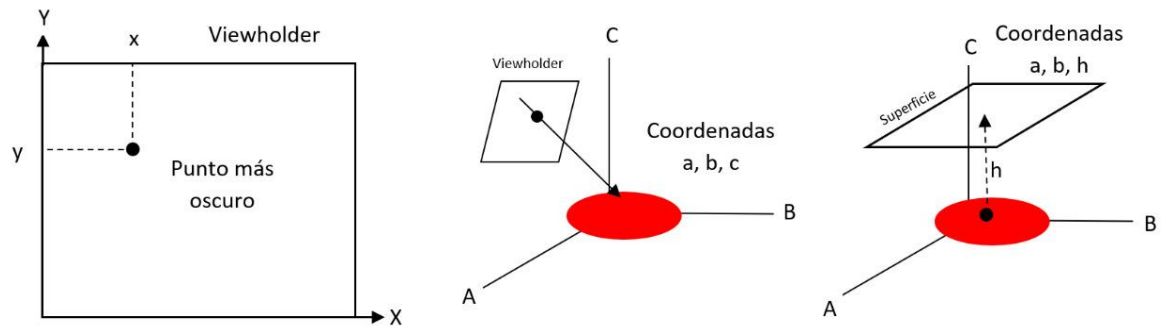


Figura 23. Proyección de las coordenadas

3.4.2.4 Movimiento del mini robot luz

Con las coordenadas calculadas se procede a mover el robot en superficie de la cavidad abdominal, por lo que solo se desplaza en el plano AB ignorando la coordenada C. Este movimiento se dará cada vez que hay un punto oscuro nuevo según la iluminación de la escena y movimiento de la cámara.

Capítulo 4

Pruebas y resultados

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas con la herramienta software para observar el movimiento del mini robot luz ante los cambios de iluminación y ante el movimiento del endoscopio. También se presentan pruebas realizadas con una representación del entorno real.

4.1 Pruebas con la herramienta software y con la representación del entorno real.

Para mostrar la ubicación de las luces sobre la imagen de la cavidad abdominal, se utilizará una cuadrícula 10x10 que hará las veces de cuadrante de un plano. Con ayuda de esta cuadrícula se podrán utilizar puntos para ubicar el endoscopio y registrar la ubicación del mini robot luz en los dos tipos de movimiento: geométrico y automático. Esta cuadrícula sirve para dimensionar la prueba (Figura 24).

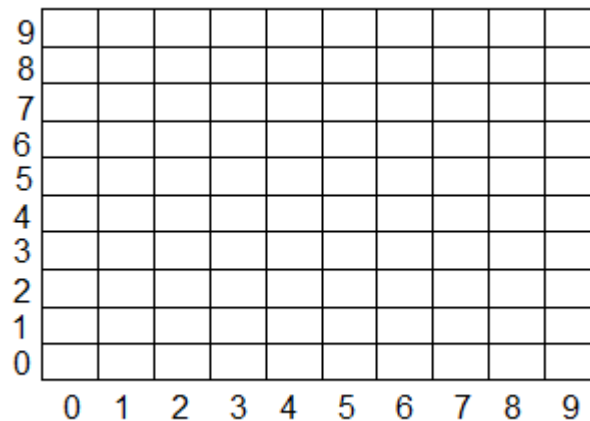


Figura 24. Cuadrícula

El movimiento de la cámara de la cavidad abdominal puede originar cambios de iluminación por lo que se creará una imagen nueva que permitirá generar nuevos puntos oscuros a iluminar. Los puntos que ocupen las luces en la imagen de la cavidad abdominal cuando se ejecuten los dos movimientos se registrarán en diferentes tablas. Cada tabla estará relacionada a una imagen de prueba. Además, se mostrarán esquemas de la cuadrícula señalando los puntos donde se ubican las diferentes luces.

El endoscopio se mueve cerca de la vesícula, debajo del hígado porque es una zona de mayor interés ya que permite iluminar este órgano y sus alrededores, teniendo en cuenta que la herramienta fue diseñada pensando en el procedimiento de extracción de una vesícula biliar.

Para representar los puntos de cada luz y de cada movimiento se utilizarán las siguientes convenciones:

- Para la luz del endoscopio.
- Para la luz del mini robot con movimiento geométrico.
- Para la luz del mini robot con movimiento automático.
- Para la luz del mini robot con movimiento automático en la representación del entorno real.

En el momento en el que inicia la herramienta software el endoscopio está en su posición inicial y no se observará la iluminación dada por el movimiento geométrico.

Para la representación del entorno real se realizan pruebas similares a las de la herramienta software, pero esta vez utilizando fotos de una representación del entorno real y probando únicamente el movimiento automático pues es este movimiento el que fue diseñado para las pruebas en un entorno real. En este caso, el movimiento geométrico no se utiliza porque este no fue pensado para pruebas reales y porque es un movimiento que depende del endoscopio, algo que no se tiene en la representación del entorno real. Se seleccionaron siete fotos lo más similares posibles a las imágenes de prueba de la herramienta (figuras 29a, 31a, 33a, 35a, 37a, 39a y 41a). Cada foto fue puesta de forma manual en el código de la herramienta. A estas fotos se les realiza el mismo análisis de imagen que a las capturas de pantalla, lo que permite que el mini robot luz se mueva al punto más oscuro.

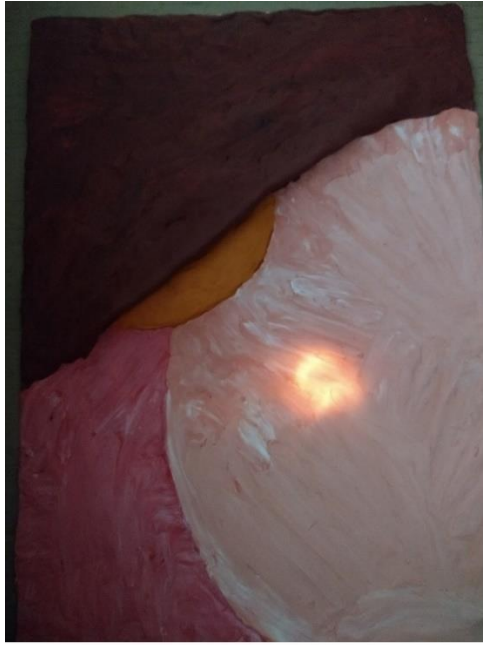
Este escenario fue construido de forma artesanal utilizando plastilina de colores rojo, negro, blanco y naranja y un octavo de cartón paja de 35x25 cm (Figura 25). Para lograr las condiciones de iluminación necesarias, se utilizó una linterna convencional mediana que fue escogida luego de compararla con otra linterna de luz blanca (Figura 26). La linterna convencional fue escogida porque la luz era más similar en color y forma a la de la herramienta (Figura 27). También se utilizó una caja de cartón de forma rectangular de 50x40 cm y 15,5 cm de alto para ayudar con las condiciones de iluminación (Figura 28). Las fotos se tomaron con la cámara de un celular, en horas de la noche.



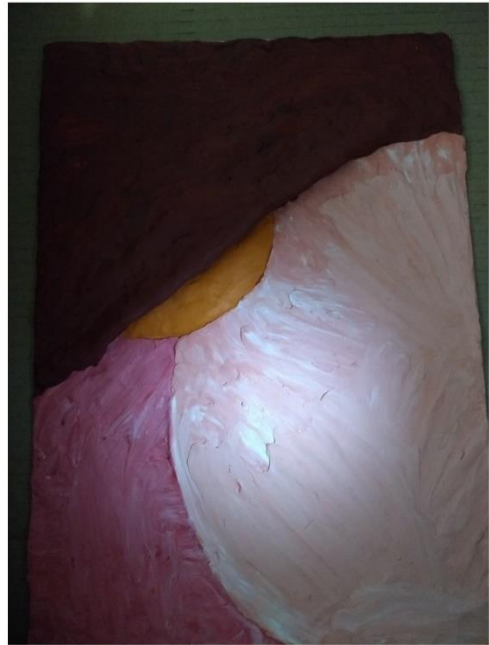
Figura 25. Escenario construido como representación del entorno real.



Figura 26. Dos tipos de linternas.



a. Luz linterna convencional



b. Luz linterna de luz blanca

Figura 27. Comparación tipos de luces.



Figura 28. Caja de cartón.

El movimiento del mini robot se verá en la herramienta software sobre la imagen simulada del entorno no sobre la foto por lo que, para ver las zonas iluminadas por este, se hará uso de la cuadrícula 10x10 de la figura 24.

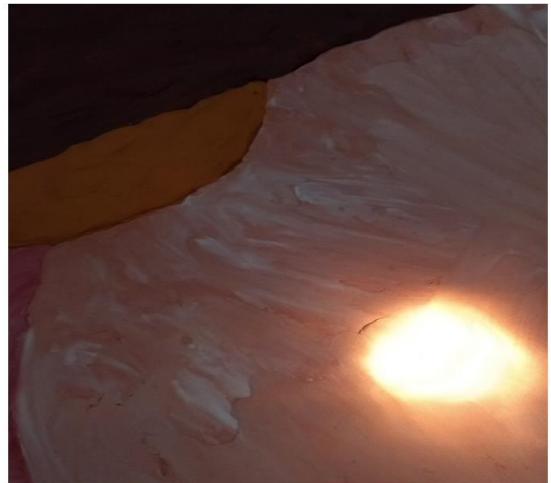
A continuación, se mostrarán los resultados para siete imágenes de prueba.

Primera imagen de prueba			
Puntos endoscopio	Puntos movimiento geométrico	Puntos movimiento automático	Puntos movimiento automático representación entorno real
(6,4),(7,3),(7,4),(7,5), (8,3),(8,4),(8,5)	(1,0),(2,0),(1,1),(1,2), (1,3),(1,4),(0,3),(0,4), (2,1),(2,2),(2,3),(2,4), (3,1),(3,2),(3,3),(3,4), (4,3),(4,4)	(0,0),(1,0),(2,0),(3,0), (4,0),(5,0),(0,1),(0,2), (1,1),(1,2),(1,3),(2,1), (2,2),(2,3),(3,1),(3,2), (3,3),(4,1),(4,2),(5,1)	(0,0),(0,1),(0,2),(0,3), (1,0),(1,1),(1,2),(1,3), (2,0),(2,1),(2,2), (3,0),(3,1)

Tabla 1. Relación de puntos iluminados para la primera imagen de prueba.



a. Endoscopio solo herramienta software



b. Foto representación entorno real



c. Iluminación movimiento geométrico



d. Iluminación movimiento automático

Figura 29. Primera imagen de prueba.

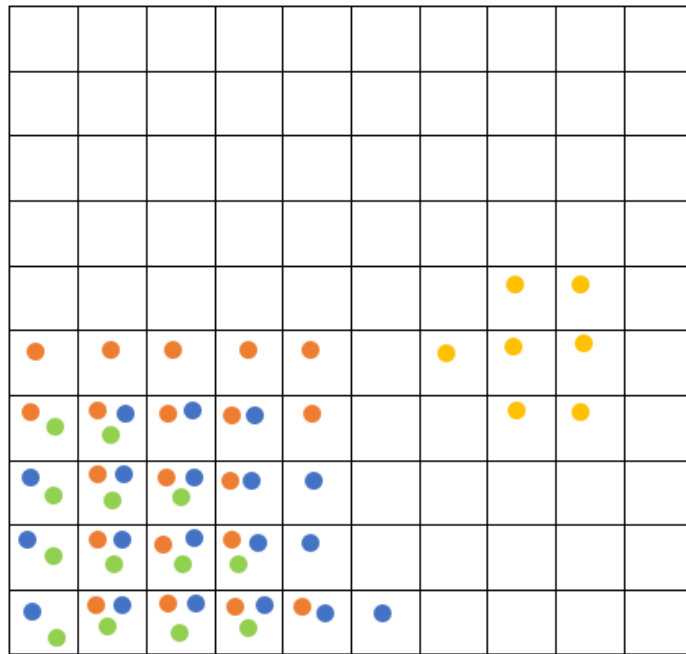


Figura 30. Esquema de cuadrícula para la primera imagen de prueba.

Segunda imagen de prueba			
Puntos endoscopio	Puntos movimiento geométrico	Puntos movimiento automático	Puntos movimiento automático representación entorno real
(7,4),(7,5),(8,3),(8,4), (8,5),(9,4),(9,5)	(1,0),(2,0),(3,0),(4,0), (5,0),(0,3),(0,4),(1,3), (1,4),(2,1),(2,2),(2,3), (2,4),(3,1),(3,2),(3,3), (3,4),(3,5),(4,1),(4,2), (4,3),(4,4),(4,5),(5,1), (5,2),(5,3),(5,4)	(0,0),(1,0),(2,0),(3,0), (4,0),(5,0),(0,1),(0,2), (1,1),(1,2),(1,3),(2,1), (2,2),(2,3),(3,1),(3,2), (3,3),(4,1),(4,2),(5,1)	(0,0),(0,1),(0,2),(0,3), (1,0),(1,1),(1,2),(1,3), (2,0),(2,1),(2,2), (3,0),(3,1)

Tabla 2. Relación de puntos iluminados para la segunda imagen de prueba.



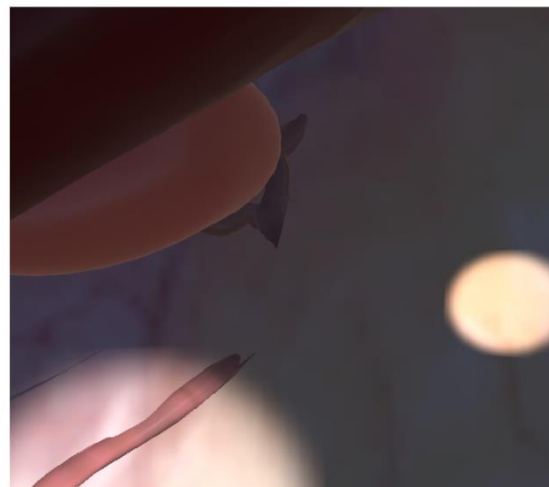
a. Endoscopio solo herramienta software



b. Foto representación entorno real



c. Iluminación movimiento geométrico



d. Iluminación movimiento automático

Figura 31. Segunda imagen de prueba.

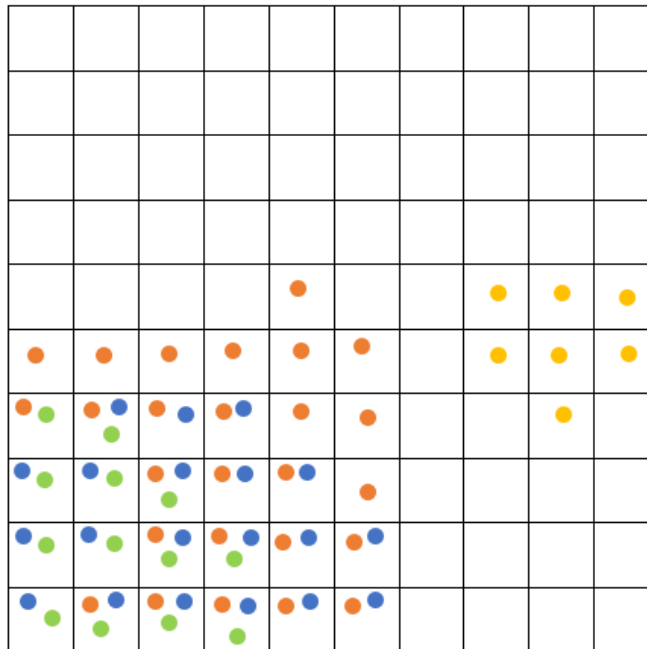


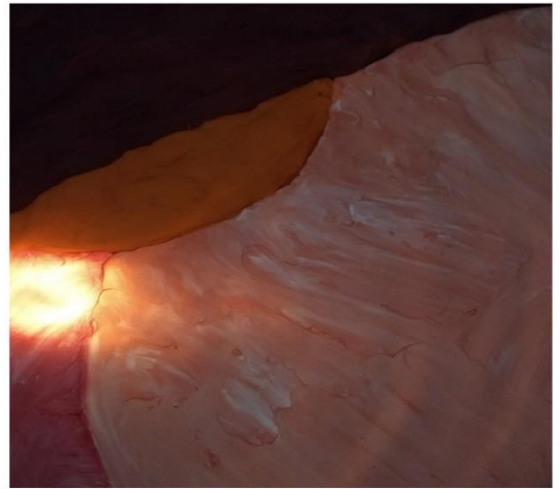
Figura 32. Esquema de cuadrícula para la segunda imagen de prueba.

Tercera imagen de prueba			
Puntos endoscopio	Puntos movimiento geométrico	Puntos movimiento automático	Puntos movimiento automático representación entorno real
(0,4),(0,5),(1,4),(1,5)	(4,0),(5,0),(6,0),(7,0), (8,0),(9,0),(4,1),(4,2), (5,1),(5,2),(5,3),(5,4), (6,1),(6,2),(6,3),(6,4), (6,5),(7,1),(7,2),(7,3), (7,4),(7,5),(8,1),(8,2), (8,3),(8,4),(9,1),(9,2), (9,3)	(0,0),(1,0),(2,0),(3,0), (4,0),(5,0),(0,1),(0,2), (1,1),(1,2),(1,3),(2,1), (2,2),(2,3),(3,1),(3,2), (4,1),(4,2),(5,1)	(0,0),(0,1),(0,2),(0,3), (1,0),(1,1),(1,2),(1,3), (2,0),(2,1),(2,2), (3,0),(3,1)

Tabla 3. Relación de puntos iluminados para la tercera imagen de prueba.



a. Endoscopio solo herramienta software



b. Foto representación entorno real



c. Iluminación movimiento geométrico



d. Iluminación movimiento automático

Figura 33. Tercera imagen de prueba.

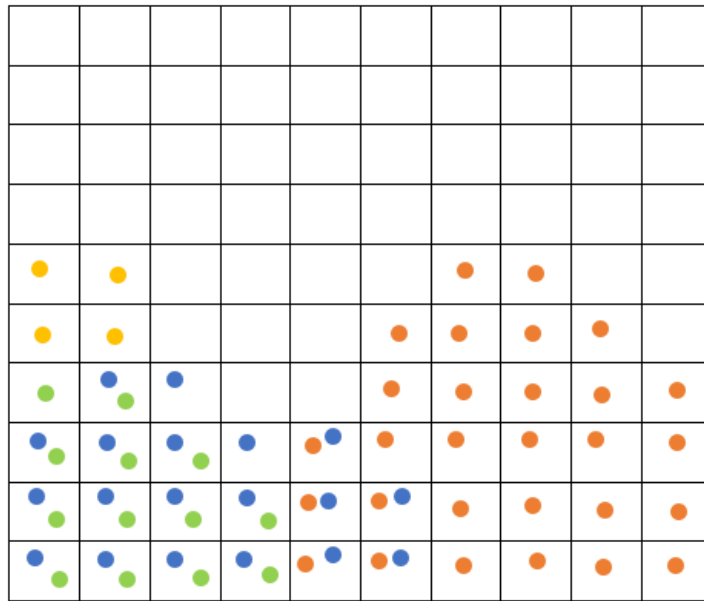


Figura 34. Esquema de cuadrícula para la tercera imagen de prueba.

Cuarta imagen de prueba			
Puntos endoscopio	Puntos movimiento geométrico	Puntos movimiento automático	Puntos movimiento automático representación entorno real
(7,3),(7,4),(8,3),(8,4)	(2,0),(3,0),(4,0),(5,0), (1,1),(1,2),(2,1),(2,2), (2,3),(3,1),(3,2),(3,3), (4,1),(4,2),(4,3),(5,1), (5,2)	(0,0),(1,0),(2,0),(3,0), (4,0),(1,1),(2,1),(2,2), (3,1),(3,2),(4,1)	(0,0),(0,1),(0,2),(0,3), (1,0),(1,1),(1,2),(1,3), (2,0),(2,1),(2,2), (3,0),(3,1)

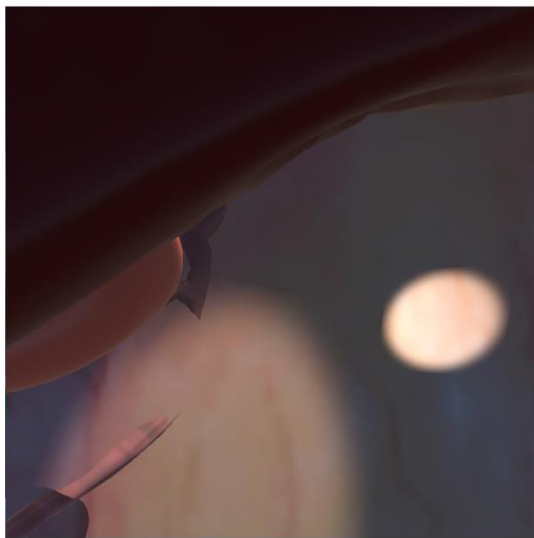
Tabla 4. Relación de puntos iluminados para la cuarta imagen de prueba.



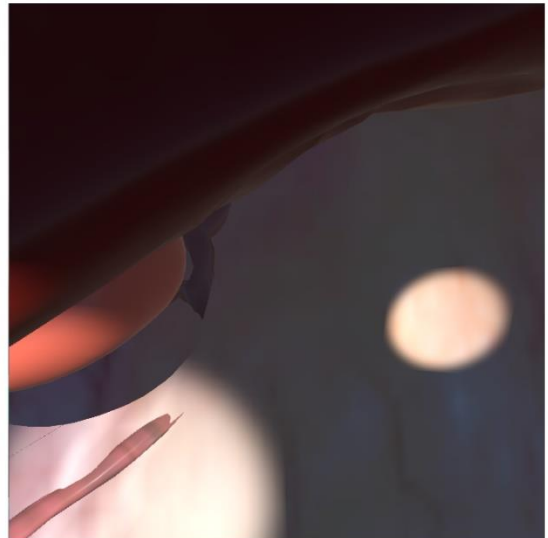
a. Endoscopio solo herramienta software



b. Foto representación entorno real



c. Iluminación movimiento geométrico



d. Iluminación movimiento automático

Figura 35. Cuarta imagen de prueba.

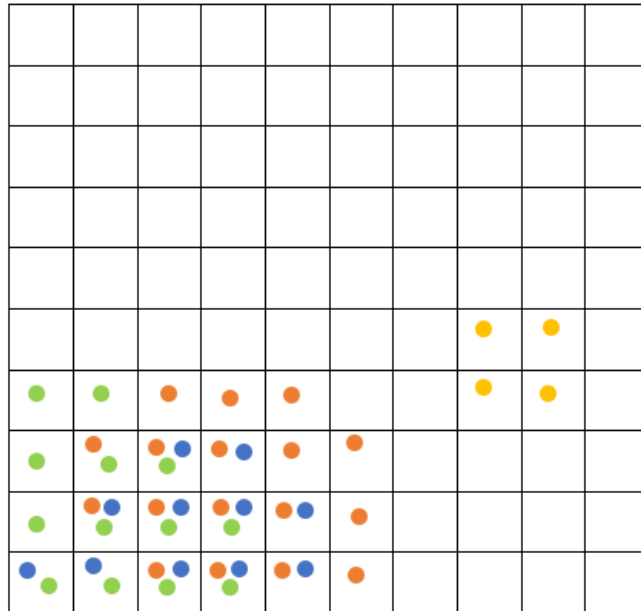


Figura 36. Esquema de cuadrícula para la cuarta imagen de prueba.

Quinta imagen de prueba			
Puntos endoscopio	Puntos movimiento geométrico	Puntos movimiento automático	Puntos movimiento automático representación entorno real
(6,3),(7,3)	(3,0),(4,0),(2,3),(3,1), (3,2),(3,3),(4,1),(4,2), (4,3),(5,1),(5,2),(5,3)	(2,0),(3,0),(4,0),(3,1), (3,2),(4,1),(4,2),(2,1), (2,2)	(0,0),(0,1),(0,2),(0,3), (1,0),(1,1),(1,2),(1,3), (2,0),(2,1),(2,2), (3,0),(3,1)

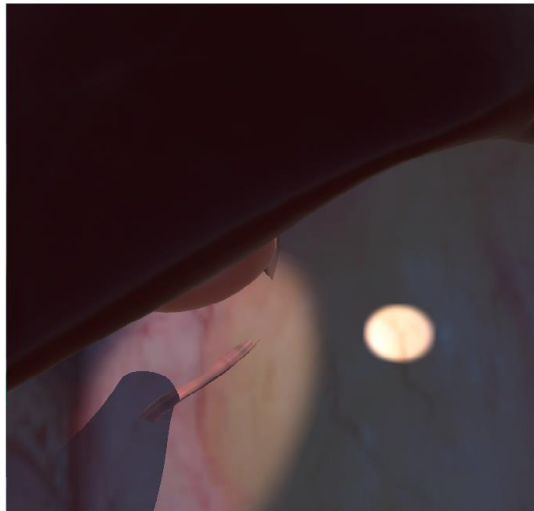
Tabla 5. Relación de puntos iluminados para la quinta imagen de prueba.



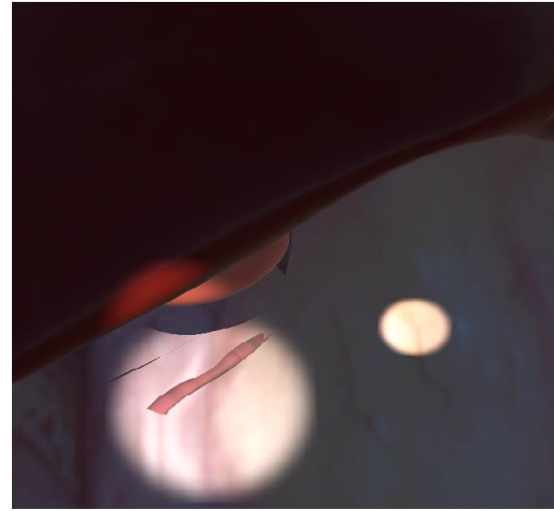
a. Endoscopio solo herramienta software



b. Foto representación entorno real



c. Iluminación movimiento geométrico



d. Iluminación movimiento automático

Figura 37. Quinta imagen de prueba.

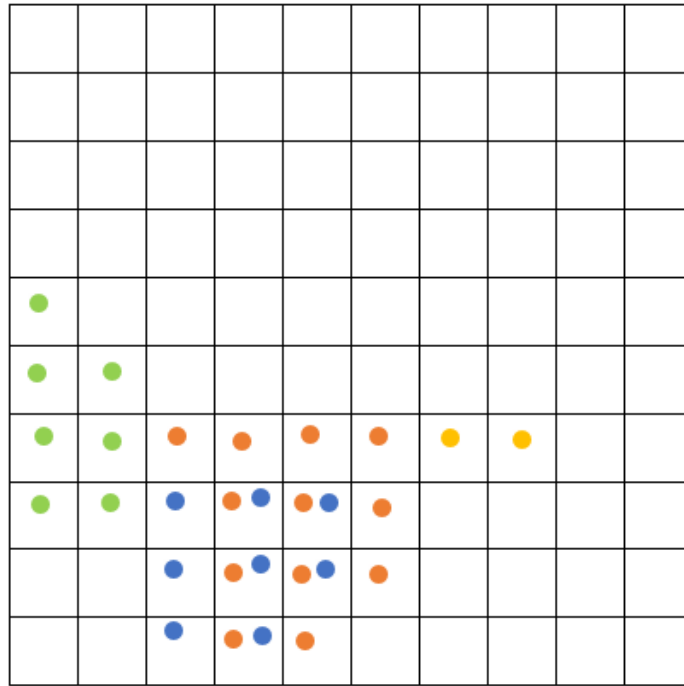
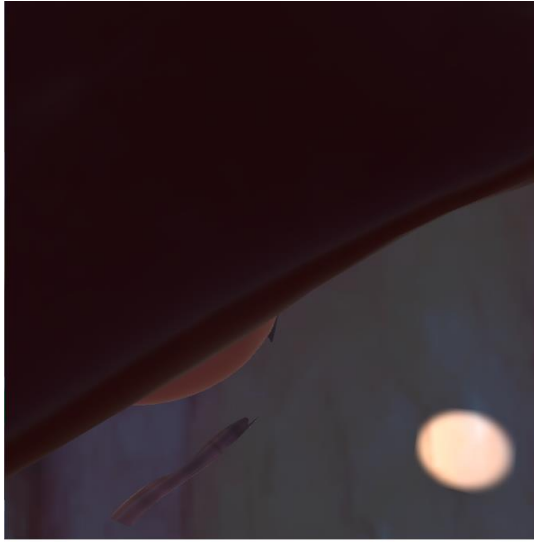


Figura 38. Esquema de cuadrícula para la quinta imagen de prueba.

Sexta imagen de prueba			
Puntos endoscopio	Puntos movimiento geométrico	Puntos movimiento automático	Puntos movimiento automático representación entorno real
(7,1),(8,1),(8,2)	(4,0),(5,0),(6,0),(7,0), (3,1),(4,1),(4,2),(5,1), (5,2),(5,3),(6,1),(6,2)	(3,0),(4,0),(5,0),(3,1), (4,1),(4,2),(5,1),(5,2), (5,3),(6,1),(6,2)	(0,0),(0,1),(0,2),(0,3), (1,0),(1,1),(1,2),(1,3), (2,0),(2,1),(2,2), (3,0),(3,1)

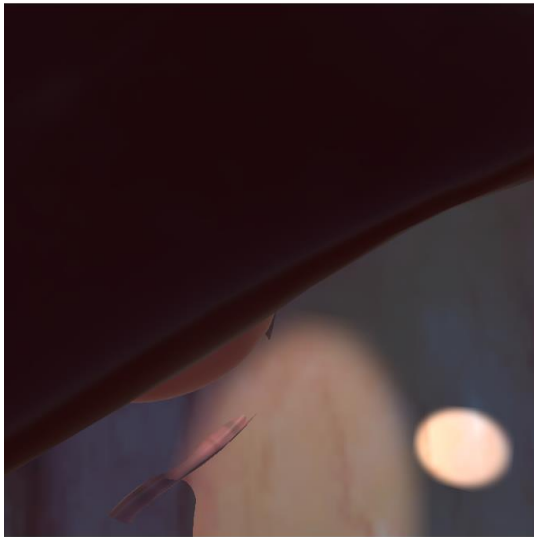
Tabla 6. Relación de puntos iluminados para la sexta imagen de prueba.



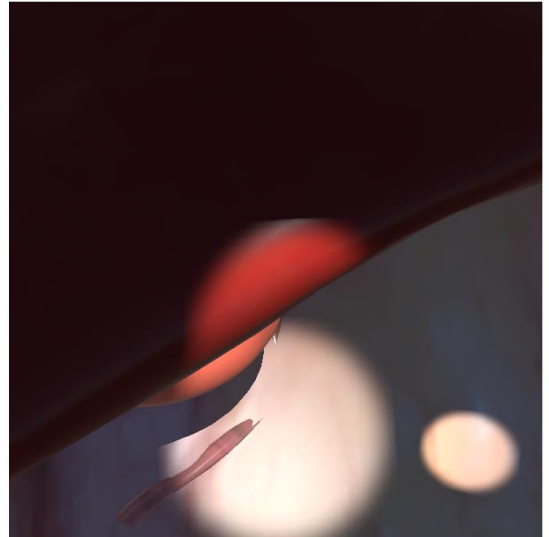
a. Endoscopio solo herramienta software



b. Foto representación entorno real



c. Iluminación movimiento geométrico



d. Iluminación movimiento automático

Figura 39. Sexta imagen de prueba.

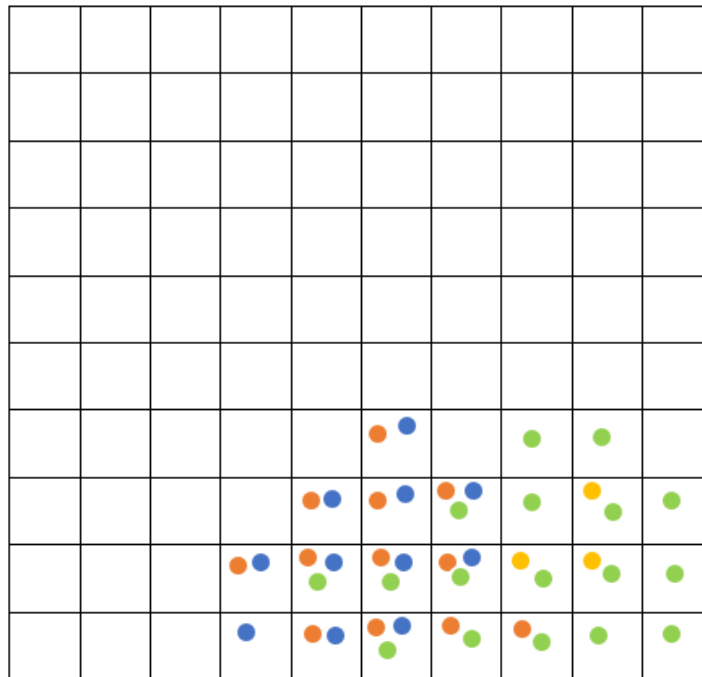


Figura 40. Esquema de cuadrícula de la sexta imagen de prueba.

Séptima imagen de prueba			
Puntos endoscopio	Puntos movimiento geométrico	Puntos movimiento automático	Puntos movimiento automático representación entorno real
(1,2),(1,3),(2,2)	(4,0),(5,0),(6,0),(7,0), (4,1),(4,2),(4,3),(5,1), (5,2),(5,3),(5,4),(6,1), (6,2),(6,3),(6,4),(7,1), (7,2),(7,3)	(1,0),(2,0),(3,0),(4,0), (5,0),(1,1),(2,1),(3,1), (3,2),(4,1),(5,1)	(0,0),(0,1),(0,2),(0,3), (1,0),(1,1),(1,2),(1,3), (2,0),(2,1),(2,2), (3,0),(3,1)

Tabla 7. Relación de puntos iluminados para la séptima imagen de prueba.



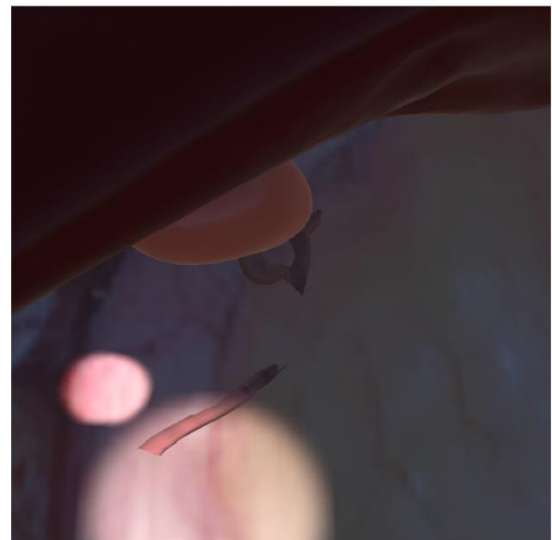
a. Endoscopio solo herramienta software



b. Foto representación entorno real



c. Iluminación movimiento geométrico



d. Iluminación movimiento automático

Figura 41. Séptima imagen de prueba.

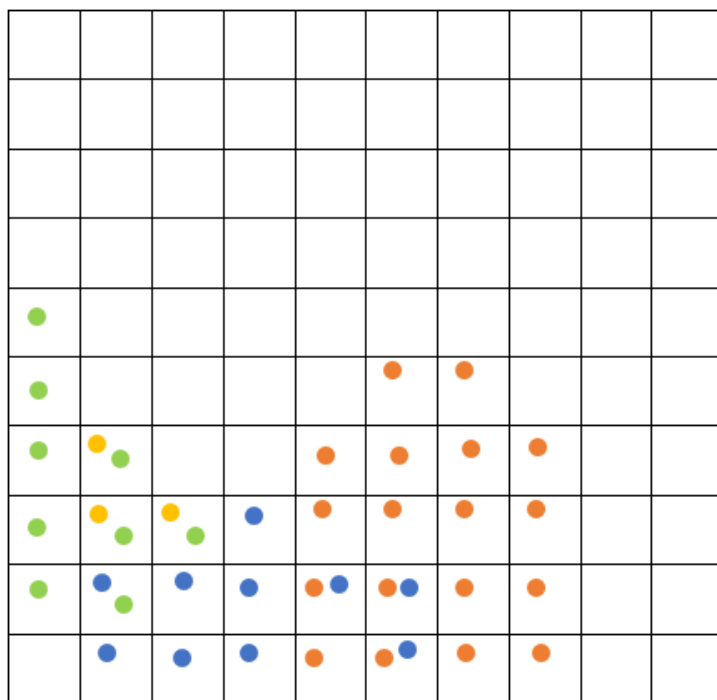


Figura 42. Esquema de cuadrícula de la séptima imagen de prueba.

4.2 Resultados

Los esquemas de cuadrícula de la sección 4.1 permiten observar el comportamiento de la luz para los dos movimientos: geométrico y automático y para el movimiento automático con las imágenes de la representación del entorno real. Con esto se evidencia que en las pruebas con la herramienta software, generalmente tanto el movimiento geométrico como el movimiento automático iluminan porciones similares en la escena.

El movimiento geométrico es más “sensible” pues depende del movimiento del endoscopio lo que hace que ilumine más y diferentes áreas que el movimiento automático. El algoritmo del movimiento automático no permitirá que el mini robot ilumine otra región a menos que haya cambios significativos de iluminación, esto se evidencia en las figuras 31 y 33.

Para generar cambios significativos de iluminación en la escena quirúrgica no solo se debe mover el endoscopio sino también cambiar el punto de vista de la cámara, al hacer esto el algoritmo detectará nuevos puntos oscuros

(figuras 37, 39 y 41). Esto muestra que el algoritmo geométrico puede abarcar más zonas, pero al depender del movimiento del endoscopio, cuando este no se mueve el mini robot no ilumina ningún punto. En estos casos el mini robot solo iluminaría con el movimiento automático.

En dos pruebas (figuras 33 y 41) se evidenció una diferencia en la iluminación de los dos movimientos. En estas imágenes se observa que el movimiento geométrico ilumina un lado de la escena mientras que el automático ilumina el lado opuesto, aunque en el mismo eje. Esto coincide con la ubicación del endoscopio en el lado izquierdo de la pantalla.

En general, la mayoría de las pruebas mostraron que ambos movimientos permiten iluminar las mismas zonas, aunque la intensidad de la luz y la cobertura son diferentes en cada movimiento. Esto es, para el movimiento geométrico la luz es más amplia pero menos intensa mientras que para el movimiento automático la luz es más intensa pero el área de cobertura es más pequeña, esto principalmente se debe al ángulo en el que se ubica el mini robot respecto a la escena siendo el geométrico inclinado (pues sigue al endoscopio) y el automático perpendicular a la cara superior de la semiesfera.

Una vez realizadas las pruebas con la herramienta software, esta se envió a España para iniciar las pruebas en el entorno real de la UMH. Las pruebas serían similares a las realizadas con el software, es decir, se utilizaría una cuadrícula 10x10 para dimensionar la escena y se realizarían varios movimientos del endoscopio para poder ver el movimiento del mini robot y captar la ubicación de las luces en el plano. Las pruebas se realizarían con el movimiento automático. Sin embargo, la persona encargada del manejo de los robots ya no se encuentra en la Universidad por lo cual el laboratorio no está disponible y conseguir y entrenar una nueva persona que se encargue de dicho laboratorio y de la manipulación de los robots tomará bastante tiempo. Por los motivos expuestos, las pruebas en el entorno real mencionado no se pudieron realizar. Ante esto, desde la Universidad Miguel Hernández, se envía una carta explicando la situación (Anexo D).

Ante lo anterior se fabricó una representación del interior de la cavidad abdominal para observar el comportamiento de la herramienta software ante una imagen con condiciones de iluminación reales. La iluminación lograda con estas condiciones se muestra en las cuadrículas (Figuras 30, 32, 34, 36, 38, 40 y 42). Estas muestran que generalmente el mini robot iluminaría áreas similares a las de las pruebas con el entorno simulado. Hay algunas diferencias notorias que pueden deberse a la naturaleza más realista de la imagen. Se debe tener en cuenta que las fotos escogidas son lo más similares a las imágenes de las pruebas del software pero no se puede tener una representación exactamente igual.

Como parte de este proyecto se ha publicado un artículo de revisión titulado “Robótica quirúrgica, desde los grandes asistentes hasta la nanotecnología” en la revista *Scientia et Technica* (Año XXI, Vol. 21, No. 2, junio de 2016. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701), y se presentó una ponencia titulada “*Tool for optimum illumination of the abdominal cavity in laparoscopic surgeries using lighting mini robots*” en la CCRA 2016 (conferencia colombiana de robótica y automatización) realizada en Bogotá en septiembre de ese año.

4.4 Encuesta de opinión

Se sabe que la academia se encuentra investigando el uso de mini robots quirúrgicos, pero se hace interesante conocer la opinión de algunos médicos pues son estos profesionales los que podrían verse beneficiados de este tipo de proyectos y serían los usuarios potenciales de esta herramienta software junto a estudiantes de medicina que eventualmente podrían estudiar o familiarizarse con herramientas modernas para procedimientos quirúrgicos. Esta no es una encuesta de usabilidad ni de experiencia de usuario sino una encuesta diseñada con el único propósito de conocer la opinión de algunos potenciales usuarios sobre la herramienta software. Se les presentó un video mostrando el funcionamiento de la herramienta y los tipos de iluminación que esta brinda y con base en lo visto se les solicitó responder un pequeño cuestionario (Anexo C).

Fueron consultados un total de 17 profesionales de la medicina con diferentes especialidades

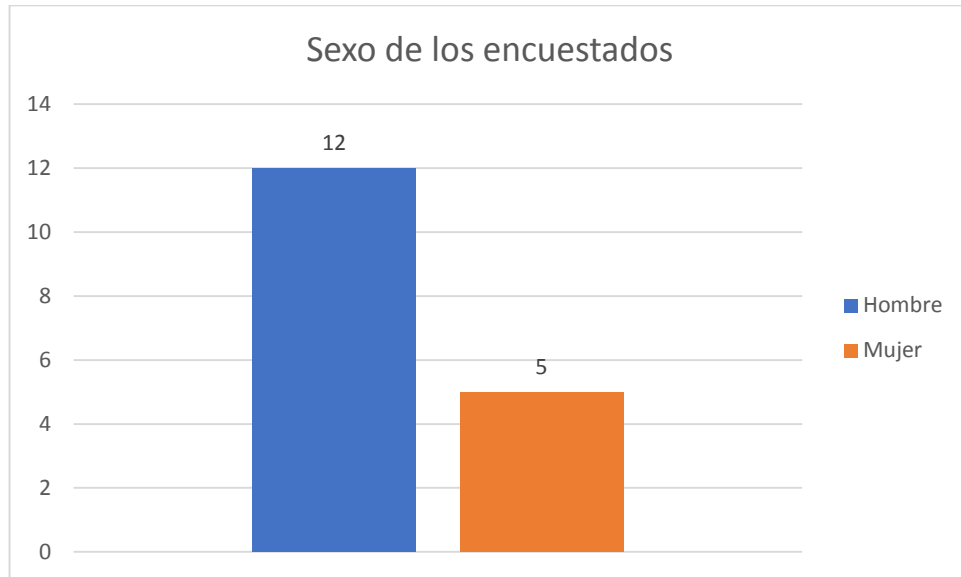


Figura 43. Sexo de los encuestados.

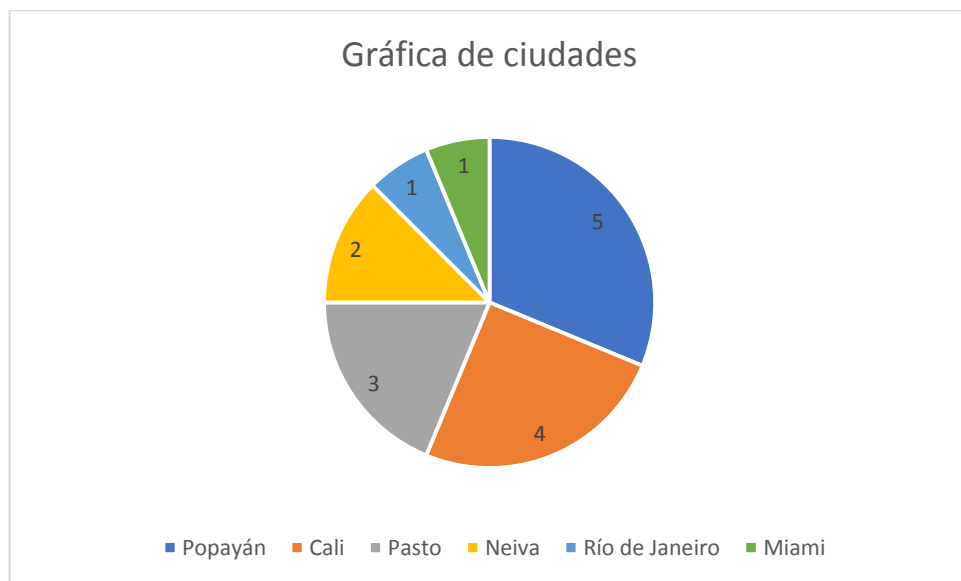


Figura 44. Ciudades de residencia.

A la pregunta “¿Cree que la luz del mini robot hace un cambio significativo en la escena presentada?”, La totalidad de los consultados respondió que sí (Figura 45)

¿Cree que la luz del mini robot hace un cambio significativo en la escena presentada?

17 respuestas

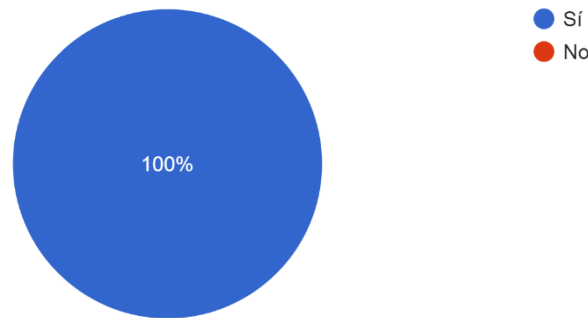


Figura 45. Respuesta primera pregunta.

Al planteamiento “De los tipos de movimientos presentados ¿Cuál cree que da una iluminación más adecuada?”, La mayoría escogió el movimiento geométrico (Figura 46).

De los tipos de movimientos presentados ¿Cuál cree que da una iluminación más adecuada?

17 respuestas

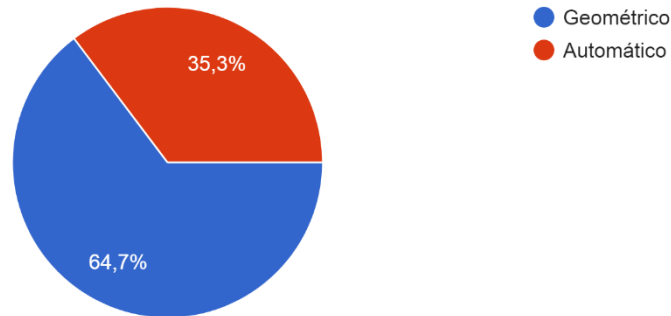


Figura 46. Respuesta segunda pregunta.

A la pregunta de si el mini robot luz podría ser un reemplazo o un apoyo para la iluminación actual, los usuarios en su mayoría opinan que los mini robots pueden ser un apoyo (Figura 47).

Respecto a la presencia de un mini robot tipo luz ¿cree que podría ser un apoyo a la luz del endoscopio o un reemplazo a esta?

17 respuestas

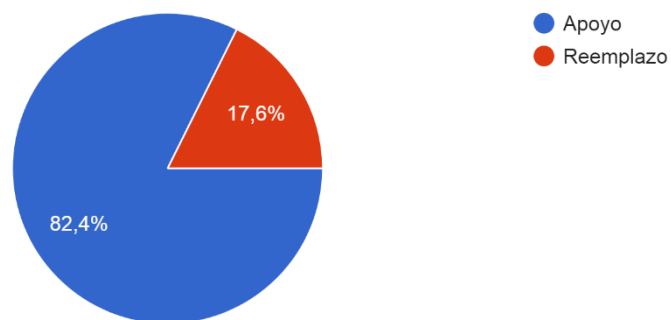


Figura 47. Respuesta a la tercera pregunta.

A la pregunta “¿Cree que es necesario tener un grupo extra de luces como las luces Luz1 y Luz2?”. La mayoría de los usuarios aseguró que sí era necesario (Figura 48).

¿Cree que es necesario tener un grupo extra de luces como las luces Luz1 y Luz2?

17 respuestas

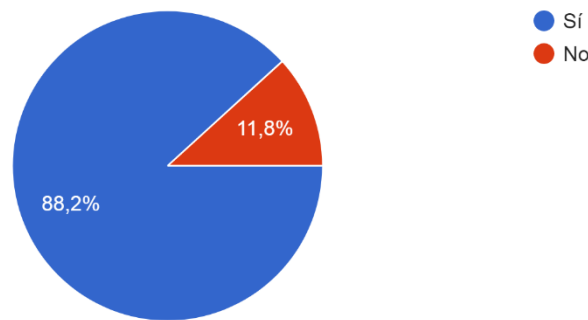


Figura 48. Respuesta cuarta pregunta.

Finalmente, se les cuestionó sobre la utilidad de este tipo de herramientas a lo que la totalidad de los participantes respondió que sí creían que eran útiles (Figura 49). Posteriormente se realizaron preguntas abiertas sobre por qué pensaban que podía ser útil la herramienta, en qué casos la usaría y su opinión general sobre esta (Anexo C).

¿Cree que este tipo de herramientas software pueden ser útiles?

17 respuestas

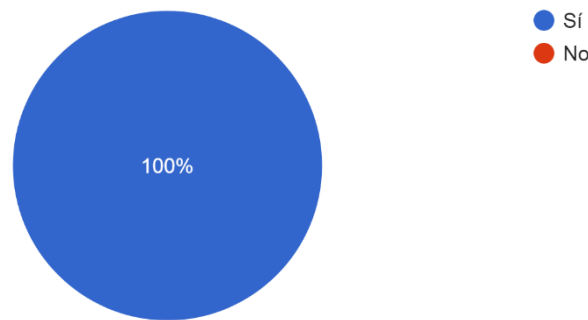


Figura 49. Respuesta quinta pregunta.

Entre las respuestas a por qué considera la herramienta útil se destacan las siguientes:

- “Porque permite visualizar mejor todo el campo quirúrgico facilitando el procedimiento”.
- “Mejoran la visibilidad, así como el campo de acción y en consecuencia la seguridad de la intervención disminuyendo la posibilidad de un error humano”.
- “Facilita notoriamente el proceso”.
- “Porque con la luz se puede realizar mejor el procedimiento y evitar así complicaciones debido a que la cavidad abdominal es muy oscura.”
- “Son un apoyo importante en el procedimiento al mejorar la visibilidad”.

También se destacan algunas respuestas a la pregunta de “¿en qué casos utilizaría esta herramienta?”:

- “En cirugías que se realicen sobre todo en áreas extensas donde no sea suficiente la iluminación de laparoscopia convencional”.
- “En todos los casos de cirugía laparoscópica cualquiera que sea la necesidad”.
- “Entrenamiento”.

En la opinión general sobre la herramienta mostrada, algunas de las respuestas fueron:

- “Es una buena herramienta para mejor visualización del área quirúrgica si cumple con las características descritas en el video”.
- “Me parece que la utilidad depende del tipo de laparoscopia a realizar, del área abdominal, siendo más útil en una exploración extensa, el área que muestra el video no necesita una gran movilidad de luz por la poca movilidad del laparoscopio, de la generación y calidad del equipo con que se cuente. Sin embargo, sería un gran cambio a una iluminación estática actual”.
- “Innovador y muy interesante”.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajos futuros

Se presentan las conclusiones basadas en la investigación realizada y en las pruebas que se llevaron a cabo.

5.1 Conclusiones

Durante el desarrollo de este proyecto se pudo mostrar que tanto el movimiento geométrico como el automático cumplen la misma función de otorgar una iluminación extra y en general coinciden en las áreas que iluminan.

El movimiento geométrico parece cubrir más área por el ángulo en que se encuentra el mini robot. Para que este movimiento cubra toda la cavidad abdominal se hace necesario el uso de otro robot que permita recorrer toda la semiesfera que forma el estómago al inflarse. El movimiento geométrico fue escogido por los usuarios como el que da la iluminación más adecuada, esto basados en un video de la herramienta no en experiencia de manipulación de la misma.

Se destaca que el movimiento automático no depende del movimiento del endoscopio para iluminar la escena y se actualizará cuando el algoritmo “encuentre” un nuevo punto oscuro. Sin embargo, puede parecer menos eficiente que el movimiento geométrico pues su velocidad de movimiento puede ser menor al tener que “pensar” qué punto debe iluminar.

El comportamiento de la herramienta ante un escenario realista puede variar debido a las características de iluminación e incluso los materiales de los elementos a

iluminar. Se deben tener en cuenta varios elementos como la iluminación externa, color de la luz, cámara utilizada, entre otros.

Los potenciales usuarios tuvieron en general opiniones positivas sobre la herramienta destacando su utilidad e innovación. Recomiendan mejorarla más y no olvidar que en la cirugía lo más importante es el componente humano. Además, también recomiendan que próximas encuestas sean enfocadas a un grupo aún más especializado pues los expertos en cirugía laparoscópica podrían aportar mucha más información.

Unity 3D parece ser un motor ideal para realizar este tipo de herramientas porque su curva de aprendizaje es corta y cuenta con tutoriales oficiales y una comunidad muy activa que retroalimentan continuamente a los usuarios. Blender es un entorno ideal también para este tipo de proyectos porque sus diseños pueden ser bastante realistas.

La tendencia tecnológica de la robótica quirúrgica está vigente y se inclina a la miniaturización de los elementos quirúrgicos buscando sobre todo comodidad y respeto por el espacio quirúrgico tanto interno como externo. Los médicos y los pacientes siguen siendo el centro de estos proyectos pues este tema es muy delicado y por el momento no se considera que los robots quirúrgicos sean otra cosa que asistentes.

La Universidad del Cauca es pionera en investigación sobre robótica quirúrgica y aunque es un tema poco común en Colombia, las investigaciones demuestran que es algo actual que genera nuevas investigaciones y negocios. Tener aliados como la UMH ayuda a que estos proyectos sean aún más interesantes, ambiciosos y realistas.

5.2 Trabajos futuros

- Realizar pruebas de funcionamiento y experiencia de usuarios con médicos y estudiantes de medicina. Especialmente aquellos enfocados en cirugía laparoscópica.
- Implementar algoritmos de análisis de imagen más especializados para realizar una comparación de cuál funciona mejor con la herramienta.
- Implementar la herramienta en un entorno real. Realizar las pruebas de funcionamiento que quedaron pendientes.

- Utilizar sensores de distancia al implementar la herramienta en un entorno real, pues con estos se puede realizar el movimiento automático.

Bibliografía

- [1] Ruiz, D., Pérez, V. Z., Betancur, M. J., & Bustamante, J. (2010). Cirugía robótica mínimamente invasiva: análisis de fuerza y torque. *Revista Ingeniería Biomédica*, 4(8), 84-92.
- [2] Cirugía Laparoscópica Avanzada. C.L.A. URL: <http://www.cirugialaparoscopicaavanzada.com/cirugia-laparoscopica.htm>. Consultado: noviembre de 2018
- [3] Billiar, T., Dunn, D., Hunter, J., Matthews, J., & Pollock, R. E. (2011). *Schwartz principios de cirugía* (pp. 190-193). F. C. Brunnicardi, & D. K. Andersen (Eds.). McGraw-Hill.
- [4] Ricci, P., Lema, R., Solá, V., Pardo, J., & Guiloff, E. (2008). Desarrollo de la cirugía laparoscópica: pasado, presente y futuro: desde Hipócrates hasta la introducción de la robótica en laparoscopia ginecológica. *Revista chilena de Obstetricia y Ginecología*, 73(1), 63-75.
- [5] Salinas, S. A., & Vivas Albán, O. A. (2009). MODELADO, SIMULACIÓN Y CONTROL DEL ROBOT PARA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA 'LAPBOT'. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 17(3), 317-328.
- [6] Torres, V., Méndez, C., Vivas, A., & Salinas, S. (2011). Diseño y simulación en 3D de un robot porta endoscopio para operaciones de laparoscopia. V *Seminario Internacional de Ingeniería Electrónica*.
- [7] Vera, D., & Vivas, A. (2013). Ambiente virtual para el entrenamiento de cirugías laparoscópicas utilizando robots. *Pan American Health Care Exchanges. Medellín, Colombia*.
- [8] Díaz-Tribaldos, M. R., Escobar-Ocampo, J. M., & Vivas-Albán, Ó. A. (2015). Interfaz háptica tipo guante con realimentación vibratoria. *Revista EIA*, 12(23), 29-39.
- [9] Tiwari, M. M., Reynoso, J. F., Lehman, A. C., Tsang, A. W., Farritor, S. M., & Oleynikov, D. (2010). In vivo miniature robots for natural orifice surgery: State of the art and future perspectives. *World journal of gastrointestinal surgery*, 2(6), 217.
- [10] Raman, J. D., Cadeddu, J. A., Rao, P., & Rane, A. (2008). Single-incision laparoscopic surgery: initial urological experience and comparison with natural-orifice transluminal endoscopic surgery. *BJU international*, 101(12), 1493-1496.
- [11] J Aguilar, J. F. N., Sanz, C. M., García, A. C., Martínez-Mediero, J. M. O., Soriano, R. M., Arbona, J. C. V., ... & Salvá, L. L. (2010). Historia y situación actual de la cirugía endoscópica por orificios naturales en nuestro país. *Cirugía Española*, 88(4), 222-227.
- [12] Proyecto MARCUS. Disponible: <http://www.roboticamedica.uma.es/marcus/INDEX.PHP/>. Consultado: noviembre de 2018.
- [13] Rivas-Blanco, I., del Saz-Orozco, P., García-Morales, I., & Muñoz, V. (2012, October). Robotic system for single incision laparoscopic surgery. In *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 2774-2779). IEEE.

- [14] J. Rivas-Blanco, I., Estebanez, B., Cuevas-Rodríguez, M., García-Morales, I., & Muñoz, V. F. (2014). Diseño de un asistente camarógrafo para técnicas de cirugía laparoscópica por puerto único. *XXXV Jornadas de Automática, Valencia, España*.
- [15] Peters, B. S., Armijo, P. R., Krause, C., Choudhury, S. A., & Oleynikov, D. (2018). Review of emerging surgical robotic technology. *Surgical endoscopy*, 1-20.
- [16] Wortman, T. D. (2011). Design, analysis, and testing of in vivo surgical robots.
- [17] Rentschler, M. E., & Oleynikov, D. (2007). Recent in vivo surgical robot and mechanism developments. *Surgical endoscopy*, 21(9), 1477-1481.
- [18] Cuevas-Rodríguez, M., Estébanez, B., Bauzano, E., Rivas-Blanco, I., García-Morales, I., Muñoz, V. F., ... & Sabater, J. M. (2014). Integración de una plataforma robótica de asistencia al cirujano en operaciones laparoscópicas de puerto único. *XXXV Jornadas de Automática, Valencia, España*.
- [19] Cueto, J., & Weber, A. (1997). Cirugía laparoscópica. *Enfermedades del tórax*, 2.
- [20] Halim, I., & Tavakkolizadeh, A. (2008). The next surgical revolution? *International Journal of Surgery*, 6(4), 273-276.
- [21] Tognarelli, S., Salerno, M., Tortora, G., Quaglia, C., Dario, P., Schurr, M. O., & Menciassi, A. (2015). A miniaturized robotic platform for natural orifice transluminal endoscopic surgery: in vivo validation. *Surgical endoscopy*, 29(12), 3477-3484.
- [22] Yeung, B. P. M., & Gourlay, T. (2012). A technical review of flexible endoscopic multitasking platforms. *International journal of surgery*, 10(7), 345-354.
- [23] ViaCath diagnostic catheters (2016) - https://www.biotronik.com/sixcms/media.php/136/ViaCath_EN.pdf. Consultado: noviembre de 2018.
- [24] OPENSURG, C. (2013). ROBOTICA MEDICA notas prácticas para el aprendizaje de la robótica en bioingeniería.
- [25] Martel, S. (2012). Journey to the center of a tumor. *IEEE Spectrum*, 49(10).
- [26] Bogue, R. (2015). Miniature and microrobots: a review of recent developments. *Industrial Robot: An International Journal*, 42(2), 98-102.
- [27] Forgione, A. (2009). In vivo microrobots for natural orifice transluminal surgery. Current status and future perspectives. *Surgical Oncology*, 18(2), 121-129.
- [28] Chen, B., Liu, Y. D., Chen, S., Jiang, S. R., & Wu, H. T. (2008). A biomimetic spermatozoa propulsion method for interventional micro robot. *Journal of Bionic Engineering*, 5, 106-112.
- [29] Tokida, K., Yamaguchi, A., Takemura, K., Yokota, S., & Edamura, K. (2013). A bio-inspired robot using electro-conjugate fluid. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 25(1), 16-24.
- [30] Simi, M., Gerboni, G., Menciassi, A., & Valdastrì, P. (2012, April). Magnetic mechanism for wireless capsule biopsy. In *Proc. of ASME Design of Medical Devices Conference, (DMD2012), Minneapolis, MN, April* (pp. 10-12).
- [31] Best, S. L., Kabbani, W., Scott, D. J., Bergs, R., Beardsley, H., Fernandez, R., ... & Cadeddu, J. A. (2011). Magnetic anchoring and guidance system instrumentation for laparo-endoscopic single-site surgery/natural orifice transluminal endoscopic surgery: lack of histologic damage after prolonged magnetic coupling across the abdominal wall. *Urology*, 77(1), 243-247.

- [32] Ueno, S., Takemura, K., Yokota, S., & Edamura, K. (2014). Micro inchworm robot using electro-conjugate fluid. *Sensors and Actuators A: Physical*, 216, 36-42.
- [33] Raman, J. D., Scott, D. J., & Cadeddu, J. A. (2009). Role of magnetic anchors during laparoendoscopic single site surgery and NOTES. *Journal of endourology*, 23(5), 781-786.
- [34] Tognarelli, S., Salerno, M., Tortora, G., Quaglia, C., Dario, P., & Menciassi, A. (2012, June). An endoluminal robotic platform for Minimally Invasive Surgery. In *Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob), 2012 4th IEEE RAS & EMBS International Conference on* (pp. 7-12). IEEE.
- [35] Terry, B. S., Mills, Z. C., Schoen, J. A., & Rentschler, M. E. (2012). Single-port-access surgery with a novel magnet camera system. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 59(4), 1187-1193.
- [36] Kuo, J. C., Huang, H. W., Tung, S. W., & Yang, Y. J. (2014). A hydrogel-based intravascular microgripper manipulated using magnetic fields. *Sensors and Actuators A: Physical*, 211, 121-130.
- [37] J Cadeddu, J., Fernandez, R., Desai, M., Bergs, R., Tracy, C., Tang, S. J., ... & Scott, D. (2009). Novel magnetically guided intra-abdominal camera to facilitate laparoendoscopic single-site surgery: initial human experience. *Surgical endoscopy*, 23(8), 1894-1899.
- [38] Arain, N. A., Rondon, L., Hogg, D. C., Cadeddu, J. A., Bergs, R., Fernandez, R., & Scott, D. J. (2012). Magnetically anchored camera and percutaneous instruments maintain triangulation and improve cosmesis compared with single-site and conventional laparoscopic cholecystectomy. *Surgical endoscopy*, 26(12), 3457-3466.
- [39] Oleynikov, D., Rentschler, M., Hadzialic, A., Dumpert, J., Platt, S. R., & Farritor, S. (2005). Miniature robots can assist in laparoscopic cholecystectomy. *Surgical Endoscopy And Other Interventional Techniques*, 19(4), 473-476.
- [40] Yin, G., Han, W. K., Faddegon, S., Tan, Y. K., Liu, Z. W., Olweny, E. O., ... & Cadeddu, J. A. (2013). Laparoendoscopic single site (LESS) in vivo suturing using a magnetic anchoring and guidance system (MAGS) camera in a porcine model: impact on ergonomics and workload. *Urology*, 81(1), 80-84.
- [41] Stoyanov, D., Elson, D., & Yang, G. Z. (2009, October). Illumination position estimation for 3D soft-tissue reconstruction in robotic minimally invasive surgery. In *Intelligent Robots and Systems, 2009. IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 2628-2633). IEEE.
- [42] Shimotsu, R. T., & Cao, C. G. (2007). The effect of color-contrasting shadows on a dynamic 3-D laparoscopic surgical task. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 37(6), 1047-1053.
- [43] Pakhomov, D., Premachandran, V., Allan, M., Azizian, M., & Navab, N. (2017). Deep residual learning for instrument segmentation in robotic surgery. *arXiv preprint arXiv:1703.08580*.
- [44] Tchoulack, S., Langlois, J. P., & Cheriet, F. (2008, June). A video stream processor for real-time detection and correction of specular reflections in endoscopic images. In *Circuits and Systems and TAISA Conference, 2008. NEWCAS-TAISA 2008. 2008 Joint 6th International IEEE Northeast Workshop on* (pp. 49-52). IEEE.

- [45] Guo, J. J., Shen, D. F., Lin, G. S., Huang, J. C., Liu, K. C., & Lie, W. N. (2016, April). A specular reflection suppression method for endoscopic images. In *Multimedia Big Data (BigMM), 2016 IEEE Second International Conference on* (pp. 125-128). IEEE.
- [46] Stoyanov, D., & Yang, G. Z. (2005, September). Removing specular reflection components for robotic assisted laparoscopic surgery. In *Image Processing, 2005. ICIP 2005. IEEE International Conference on* (Vol. 3, pp. III-632). IEEE.
- [47] Lee, A. C., Elson, D. S., Neil, M. A., Kumar, S., Ling, B. W., Bello, F., & Hanna, G. B. (2009). Solid-state semiconductors are better alternatives to arc-lamps for efficient and uniform illumination in minimal access surgery. *Surgical endoscopy*, 23(3), 518-526.
- [48] Hu, T., Allen, P. K., Hogle, N. J., & Fowler, D. L. (2009). Insertable surgical imaging device with pan, tilt, zoom, and lighting. *The International Journal of Robotics Research*, 28(10), 1373-1386.
- [49] Dong, D. H., Zhu, H. Y., Luo, Y., Zhang, H. K., Xiang, J. X., Xue, F., ... & Lv, Y. (2017). Miniature magnetically anchored and controlled camera system for trocar-less laparoscopy. *World journal of gastroenterology*, 23(12), 2168.
- [50] Simi, M., Silvestri, M., Cavallotti, C., Vatteroni, M., Valdastrì, P., Menciassi, A., & Dario, P. (2013). Magnetically activated stereoscopic vision system for laparoendoscopic single-site surgery. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 18(3), 1140-1151.
- [51] Yazdanpanah, A. R., Liu, X., Li, N., & Tan, J. (2017, September). A novel laparoscopic camera robot with in-vivo lens cleaning and debris prevention modules. In *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2017 IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 3669-3674). IEEE.
- [52] Cirugía laparoscópica de estómago:
<http://cirugiaendoscopica-peru.com/?q=node/197>. Consultado: noviembre de 2018.
- [53] *Histogram calculation*:
https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/histograms/histogram_calculation/histogram_calculation.html. Consultado: noviembre de 2018.
- [54] Histograms - 1: Find, Plot, Analyze !!!:
https://docs.opencv.org/3.1.0/d1/db7/tutorial_py_histogram_begins.html. Consultado: noviembre de 2018.
- [55] CAMERA HISTOGRAMS: TONES & CONTRAST:
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/histograms1.htm>. Consultado: noviembre de 2018.

Anexos

Anexo A

Código del movimiento del robot

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class MoverRobot : MonoBehaviour
{

    public static bool modeAuto = false;
    public static bool paused = false;
    public static bool changed = true;

    public float speed = 0.2f;
    public static Vector3 target;
    private Vector3 originAut = new Vector3(0.252f, 1.61f, 0.39f);

    private Vector3 originGeo = new Vector3(0.252f, 1.61f, 0.39f);
    float velocidad = 0.1f;
    float l = 1.68f;

    Vector3 position = new Vector3(0f, 0f, 0f);
```

```

public Transform targetLiver;
public MoverLapa lapa;

bool flagLapaX = false;
float lapaX;
float lapaMax;
float pi = Mathf.PI;
float radius = 1f;

const int MOVING = 0;
const int MOVED = 1;

int movement = MOVED;
float targetDelta = 0;
float iniDelta = 0;

void Start()
{
    lapa.movementX += moveLapaX;
}

void Update()
{
    if (paused == false)
    {
        if (modeAuto == true)
        {
            moveAutomatic();
        }
        else
        {
            moveGeometric();
        }
    }
}

```



```

        }
    }

}

void moveAutomatic()
{
    if (changed == false)
    {
        changed = true;
        transform.position = originAut;
        transform.rotation = Quaternion.Euler(90, 0, 0);
    }

    if (target == null)
    {
        target = originAut;
    }

    float step = speed * Time.deltaTime;
    transform.position = Vector3.MoveTowards(transform.position, target,
step);
}

void moveGeometric()
{
    if (changed == true)
    {
        changed = false;
        transform.position = originGeo;
    }

    if (movement == MOVED)
    {

```

```

if ((lapaX < 0 && flagLapaX) || (lapaX > 0 && !flagLapaX))
{
    movement = MOVING;

    if (lapaX > 0)
    {
        iniDelta = lapaX * (pi / 2) / lapaMax;
        targetDelta = (lapaX * (pi / 2) / lapaMax) + 0.5f + pi;
    }
    else
    {
        iniDelta = (lapaX * (pi / 2) / lapaMax) + 0.5f + pi;
        targetDelta = lapaX * (pi / 2) / lapaMax;
    }
}
else
{
    var delta = lapaX * (pi / 2) / lapaMax;
    if (lapaX > 0)
    {
        delta = delta + 0.5f + pi;
    }
    moveLapa(delta);
}

}
else if (lapaX < 0)
{
    moveLapaToRight();
}
else
{
    moveLapaToLeft();
}
flagLapaX = lapaX > 0;

```

```

}

void moveLapaX(float max, float x)
{

    lapaMax = max;
    lapaX = x;
}

void moveLapaToLeft()
{
    print("Entro en LEFT");

    if (iniDelta < targetDelta)
    {
        iniDelta += 0.01f;
        moveLapa(iniDelta);
    }
    else
    {
        movement = MOVED;
    }
}

void moveLapaToRight()
{
    print("Entro en RIGHT");
    if (iniDelta > targetDelta)
    {
        iniDelta -= 0.01f;
        moveLapa(iniDelta);
    }
    else
    {

```

```

        movement = MOVED;
    }
}

void moveLapa(float delta)
{
    var z = -radius * Mathf.Sin(delta);
    var x = radius * Mathf.Cos(delta);

    var h2 = (x * x) + (z * z);
    var h = Mathf.Sqrt(h2);

    var radian = pi / 2 + h * pi / (2 * l);
    var y = l * Mathf.Sin(radian);

    position.x = x;
    position.y = y;
    position.z = z;

    transform.position = position;
    transform.LookAt(targetLiver);
}
}

```

Anexo B

Código del histograma

```
import cv2, numpy as np
from math import sqrt
import numpy as np
from matplotlib import pyplot as plt

class DetectDarkZones:

    def __init__(self, zones, width, height):
        self._zones = zones
        self._width = width
        self._height = height
        self._centers = []
        self._histogs = []
        self._brightness = np.arange(256)/256
        N = self._width * self._height
        self._step = int(sqrt(N/self._zones))

    def getModel(self, frame, midStep = 0):

        x_center = int(self._step/2)
```

```

while x_center < self._width:
    y_center = int(self._step/2)
    while y_center < self._height:
        self._histogs.append(self.detectHistogram(frame[y_center
midStep : y_center + midStep, x_center - midStep : x_center + midStep]))
        self._centers.append((x_center, y_center))
        y_center = y_center + self._step
        x_center = x_center + self._step

def detectZones(self, frame):

    self._centers = []
    self._histogs = []
    midStep = int(self._step/2)
    grayFrame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    self.getModel(grayFrame, midStep)

def drawRectangle(self, frame, color = (255,255,255), thickness = 1):

    midStep = int(self._step/2)
    for center in self._centers:
        cv2.rectangle(frame, (center[0] - midStep, center[1] - midStep),
(center[0] + midStep, center[1] + midStep), color, thickness, cv2.LINE_AA)
    return frame

def drawPercentage(self, frame, color = (255,255,255), thickness = 1):

    midStep = int(self._step/2)
    for center, perce in zip(self._centers, self._histogs):
        cv2.putText(frame, str(int(perce)) + '%', (center[0] - midStep,
center[1]), cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN , 1, color, thickness, cv2.LINE_AA)
    return frame

def detectHistogram(self, Frame):

```

```

x, y = Frame.shape
totalPixels = x * y
percentage = 0
histogram = cv2.calcHist([Frame], [0], None, [256], [0,256])
for numPixels, bright in zip(histogram, self._brightness):
    percentage = percentage + ((numPixels/totalPixels) * bright)
return percentage * 100

```

```

def setWidthAndHeight(self, width=0, height=0):

```

```

    self._width = width
    self._height = height
    N = self._width * self._height
    self._step = sqrt(N/self._zones)

```

```

def getDarkestZone(self):

```

```

    min = self._histogs[0]
    pos = self._centers[0]
    var = 0
    for value in self._histogs:
        if value < min:
            min = value
            pos = self._centers[var]
        var = var + 1
    return pos

```

```

def getLightestZone(self):

```

```

    max = self._histogs[0]
    pos = self._centers[0]
    var = 0
    for value in self._histogs:
        if value > max:
            max = value

```

```
        pos = self._centers[var]
    var = var + 1
    return pos
```

```
def getDarknestAndLightestZone(self):
```

```
    min = self._histogs[0]
    max = self._histogs[0]
    posMin = self._centers[0]
    posMax = self._centers[0]
    var = 0
    for value in self._histogs:
        if value < min:
            min = value
            posMin = self._centers[var]
        if value > max:
            max = value
            posMax = self._centers[var]
        var = var + 1
    return [posMin, posMax]
```

```
def getDarkZones(self, amount = -1):
```

```
    if amount < 0 or amount >= len(self._centers):
        return self._histogs
    if amount > 0:
        histogs = self._histogs
        hisMin = []
        pos = 0
        min = self._histogs[0]
        counter = 0
        position = 0
        while counter < amount:
            for percentage in histogs:
                if percentage < min:
```



```
        min = percentage
        pos = position
        position = position + 1
    hisMin.append(self._centers[pos])
    histogs[pos] = 100
    position = 0
    min = histogs[pos]
    pos = 0
    counter = counter + 1
return hisMin
```


Anexo C

Cuestionario. Encuesta de opinión

1. Nombres y apellidos.
2. Ciudad de residencia
3. Usted es: médico o estudiante de medicina.
4. Si tiene alguna especialidad por favor indíquela a continuación
5. ¿Cree que la luz del mini robot hace un cambio significativo en la escena presentada? -R: Si. No
6. De los tipos de movimientos presentados ¿Cuál cree que da una iluminación más adecuada? R: Geométrico. Automático.
7. Respecto a la presencia de un mini robot tipo luz ¿cree que podría ser un apoyo a la luz del endoscopio o un reemplazo a esta? R: Apoyo. Reemplazo
8. ¿Cree que es necesario tener un grupo extra de luces como las luces Luz1 y Luz2? R: Si. No.
9. ¿Cree que este tipo de herramientas software pueden ser útiles? R: Si. No.
¿Por qué?
10. Si la respuesta anterior fue afirmativa ¿en qué casos utilizaría esta herramienta?
11. Finalmente, nos gustaría saber su opinión sobre la herramienta que vio en el video.

Anexo D

Carta de la UMH



Grupo de Neuroingeniería Biomédica
<http://nbio.umh.es>



To: Maestría en Automática, Universidad del Cauca, Colombia

Por la presente el grupo de investigación en neuroingeniería biomédica (nBio) de la Universidad Miguel Hernández, se permite informar sobre la situación de las pruebas finales que la estudiante del máster en automática Cristina Chaparro debería llevar a cabo en nuestro laboratorio. Dicha estudiante realizó una estancia durante el primer semestre del año 2016. Al regresar a Colombia tenía como misión finalizar el algoritmo que comanda el mini robot luz que a su vez es movido por un brazo UR5. Ese algoritmo nos fue enviado el pasado 31 de octubre.

Desafortunadamente la persona encargada del laboratorio donde se encuentra el manipulador UR5 así como los mini robots, defendió su tesis doctoral hace algunos meses y ya no se encuentra en nuestra universidad. Probar los códigos de Cristina requiere ante todo traducirlos al lenguaje que utiliza el robot para luego instalar un sistema de visión con el fin de tomar datos. Esto implica tiempo y una persona a cargo, lo cual no se tiene en este momento.

Atentamente,

Dr. José Sabater Navarro
Grupo de Neuroingeniería Biomédica
Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
j.sabater@umh.es

