



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica

INTRODUCCIÓN A LAS BASES TECNOLÓGICAS DE LA
CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: García Chilet, Miguel

Tutor/a: Peris Fajarnes, Guillermo

Cotutor/a: Moncho Santonja, María

Cotutor/a externo: PAJARES MORENO, BERNARDO

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

COMPROMISO

EL AUTOR SE COMPROMETE:

"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía"

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	8
Figura 2	10
Figura 3	10
Figura 4	11
Figura 5	13
Figura 6	14
Figura 7	15
Figura 8	15
Figura 9	16
Figura 10	20
Figura 11	23
Figura 12	23
Figura 13	25
Figura 14	26
Figura 15	27
Figura 16	28
Figura 17	28
Figura 18	30
Figura 19	31
Figura 20	31
Figura 21	32
Figura 22	32
Figura 23	33
Figura 24	34
Figura 25	34
Figura 26	35
Figura 27	36
Figura 28	36
Figura 29	37
Figura 30	38

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
OBJETIVOS	3
1ª PARTE: LA CIRUGÍA LAPAROSCÓPIA EJEMPLO DE LA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DEL QUIRÓFANO	4
1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	4
2. LA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA CONVENCIONAL	6
2.1 EL PROCEDIMIENTO DE LA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA CONVENCIONAL.....	7
2.2 TECNOLOGÍA DE LA IMAGEN	8
2.2.1 La fuente de luz fría	8
2.2.2 El cable de luz fría.....	9
2.2.3 El endoscopio.....	10
2.2.4 La cámara de video.....	11
3. TECNOLOGÍA ROBÓTICA: SISTEMA DA VINCI	14
3.1 EL ROBOT DA VINCI.....	15
3.2 EL SISTEMA DA VINCI EN ESPAÑA	16
4. COMPARATIVA ENTRE LAPAROSCOPIA CONVENCIONAL Y ASISTIDA POR ROBOT	17
2ª PARTE: ¿QUE PUEDE APORTAR EL CAMPO DE LA GEOMÁTICA A LA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA?	19
1. CONCEPTOS PREVIOS	19
1.1 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	19
1.2 TECNOLOGÍA LASER.....	21
1.3 LA FOTOGRAMETRÍA	22
1.3.1 Proceso fotogramétrico	22
1.3.2 Fotogrametría de objeto cercano.....	24
1.4 TÉCNICAS ESCANEADO 3D NO INVASIVAS	25
1.4.1 Luz estructurada	25
1.4.2 Escáner 3D por triangulación	27

2. PRINCIPALES VÍAS DE INVESTIGACIÓN RELACIONADAS CON LA GEOMÁTICA	29
2.1 CREACIÓN DE MODELOS 3D PARA CIRUGÍA.....	29
2.1.1 Modelados 3D anatómicos.....	29
2.1.2 Modelados 3D no anatómicos.....	36
2.2 DESARROLLO DE ENDOSCOPIOS CON FLUORESCENCIA	37
2.3 DISEÑO DE SISTEMAS DE VISIÓN LASER PARA ROBOTS QUIRÚRGICOS AUTÓNOMOS	38
CONCLUSIONES DE ESTE TRABAJO	39
CONCLUSIONES SOBRE LOS OBJETIVOS DE ESTE TFT	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXO 1: MAPAS.....	43

RESUMEN

La cirugía laparoscópica, es una intervención mínimamente invasiva (CMI), engloba varias técnicas de observación directa del interior del cuerpo humano, para ello se utiliza instrumental óptico que se introduce en algún orificio natural o temporal para permitir la visualización del interior del órgano o cavidad. Desde los tiempos de Hipócrates, siglo V a.C. se contemplaba la posibilidad de observar el interior del ser humano sin necesidad de realizar una cirugía abierta, sin embargo no existía la tecnología que lo permitiese.

Este trabajo pretende, mediante una revisión bibliográfica, ser una introducción de las bases tecnológicas en la cirugía exploratoria desde los inicios hasta su futuro, exponiendo algunas de las actuales vías de investigación que mantienen relación con la ingeniería geomática.

Para ello, se ha utilizado una extensa bibliografía formada por libros, artículos científicos, estudios realizados por diversos autores, manuales de uso y buscadores científicos como “Google Scholar”. De la información recopilada, se ha seleccionado aquella directamente relacionada con el tema de estudio y su acercamiento a las ingenierías se ha valorado positivamente, se ha utilizado la bibliografía más reciente siempre que ha sido posible.

La cirugía laparoscópica en este trabajo se divide en dos según el instrumental, la laparoscopia convencional con uso de endoscopio y la laparoscopia asistida por robot. Ambas presentan los mismos resultados quirúrgicos, sin embargo la cirugía asistida a pesar de requerir de más tiempo y ser más difícil de dominar, presenta notables ventajas frente el abordaje convencional, tanto para el paciente como para el equipo médico.

Como conclusiones de esta revisión destacamos, **primero**, actualmente estamos viviendo una transición de la cirugía convencional hacia la cirugía asistida por robot, **segundo**, los quirófanos se están convirtiendo en laboratorios de ingeniería y **último**, el futuro se presenta favorable para la ingeniería, en el campo de la geomática especialmente, responsable del control geométrico, captura y procesado de modelos 3D, así como de la creación de herramientas que como el BIM en obra, permitan planificar y organizar los servicios de atención médica.

PALABRAS CLAVE: Laparoscopia, Cirugía Robótica, Sistema Da Vinci, escáner 3D, Fluorescencia, Medición Laser, Luz estructurada.

ABSTRACT

Laparoscopic surgery, is a minimally invasive intervention, formed by several techniques of direct observation of the human body's interior, in the procedure, the optical instruments are inserted into a natural or temporary orifice to allow visualization of the interior of the organ or cavity. From the time of Hippocrates, 5th century B.C. the possibility of observing the interior of the human being without needing to perform open surgery was contemplated, however, the technology that would allow it did not exist at that time.

This work intends, through a bibliographic review, to be an introduction to the technological bases in exploratory surgery from the beginning to its future, exposing some of the current lines of research that are related to geomatic engineering.

To do this, an extensive bibliography made up of books, scientific articles, studies carried out by various authors, user manuals and scientific search engines such as "Google Scholar" has been used. From the information collected, that directly related to the subject of study has been selected and its approach to engineering has been valued, using the most recent, whenever it was possible.

Laparoscopic surgery in this work is divided into two types according to the instruments used, conventional laparoscopy with the use of an endoscope and robot-assisted laparoscopy. Both present the same surgical results, however assisted surgery, despite requiring more time and being more difficult to master, has notable advantages over the conventional approach, both for the patient and for the medical team.

As conclusions of this review we highlight, first, we are currently experiencing a transition from conventional surgery to robot-assisted surgery, second, surgery rooms are becoming engineering laboratories and lastly, the future looks favorable for engineering, in the field of geomatics especially, responsible for the geometric control, capture and processing of 3D models, as well as the creation of tools that, like the BIM on civil engineering, allow planning and organizing medical care services.

KEY WORDS: Laparoscopy, Robotic Surgery, Da Vinci System, 3D Scanner, Fluoresce, Laser Measurement, Structured Light.

OBJETIVOS

El propósito de este documento es presentar una guía introductoria a las bases tecnológicas de la cirugía laparoscópica.

Para ello, se deben de conseguir ciertos objetivos:

- Debe de incluir un apartado de antecedentes históricos que recoja los principales avances tecnológicos en el campo de la cirugía laparoscópica.
- Debe de exponer las actuales técnicas y las bases tecnológicas de la cirugía laparoscópica convencional.
- Debe de explicar que es y cuáles son los fundamentos de la cirugía asistida por robot.
- Debe de contener una comparativa de ambos procedimientos.
- Debe de realizar una breve exposición de los conceptos teóricos del campo de la geomática relacionados con la cirugía laparoscópica, con el fin de recordar o introducir el campo al lector.
- Debe de recoger las principales vías de investigación relacionadas con la ingeniería geomática.

1ª PARTE: LA CIRUGÍA LAPAROSCÓPIA EJEMPLO DE LA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DEL QUIRÓFANO

1. Antecedentes Históricos

Desde los primeros pasos de la humanidad y debido a la naturaleza biológica de esta, el ser humano ha requerido de técnicas y procedimientos médicos con los que tratar traumatismos y heridas causadas por las duras condiciones a las que se veían sometidos como la intemperie.

Podemos diferenciar dos tipos de tratamientos o cuidados médicos, en primer lugar se encuentran aquellos que se podrían catalogar como curativos o también denominados sanadores, realizados históricamente por sacerdotes o chamanes tribales y por otro lado aquellos procedimientos en los cuales es necesario abrir, cortar o amputar partes del cuerpo para poder curar, una tarea que históricamente había descansado en un técnico o barbero.

Actualmente, el campo de la medicina moderna engloba ambas disciplinas, la medicina y la cirugía. Sin embargo, en el pasado estaban muy diferenciadas, a pesar de compartir el mismo objetivo, ni eran realizadas por el mismo perfil profesional, ni estaban igualmente valoradas. Históricamente, la cirugía ha sido responsable de más muertes que vidas ha salvado, como menciona Lindsey Fitzharris en su libro *'De matasanos a cirujanos'*, *"La habilidad se medía por ser el más rápido amputando miembros. Era algo bastante brutal. Antes de la anestesia, antes de que supiésemos de la existencia de los gérmenes, era muy peligroso ir a un hospital"*.

Sin embargo, el cómo ha pasado de ser una apuesta arriesgada al pináculo de la medicina, se debe principalmente a dos factores: por un lado, los avances en química y biología, como la anestesia y el descubrimiento de los gérmenes como causantes de las enfermedades post operatorias, y por el otro lado, las mejoras tecnológicas en el equipamiento quirúrgico así como de las técnicas realizadas. Sobre estas últimas nos centraremos en este estudio, concretamente en lo referente a la cirugía laparoscópica.

Con el tiempo, los procedimientos y las herramientas, en el campo de la cirugía, se fueron perfeccionando gracias al ingenio y a la habilidad del ser humano de crear y usar herramientas, debido a estas capacidades la humanidad ha podido superarse e imponerse al resto de especies.

Volviendo al caso de la cirugía laparoscópica, tanto griegos como egipcios teorizaron y desarrollaron las primeras bases filosóficas sobre las que se fundaría el pensamiento crítico, donde el método científico se impondría sobre las tradiciones o las creencias que no estuviesen apoyadas sobre el uso de la razón.

En el campo de la medicina destacó Hipócrates, nacido en Cos en el 460 a. C, quien fue el precursor de la medicina moderna y aunque sus aportaciones más importantes se podrían clasificar dentro de la medicina interna, también fue una figura clave en el desarrollo de la cirugía. Este importante médico y filósofo griego no solo escribió sobre cómo debía de ser el procedimiento conceptualmente sino que también redactó tratados con gran exactitud anatómica y diseños de nuevo equipamiento para aquellos lugares que más tarde reconoceríamos como quirófanos.

En lo que respecta a la especialidad de la cirugía mencionó:

“La cirugía trata del paciente, el cirujano, los ayudantes y los instrumentos: el tipo y la orientación de la luz; la colocación idónea del paciente y los instrumentos; la hora, el método y el lugar. El cirujano debe sentarse en un lugar bien iluminado y confortable, para él y para el paciente. Las uñas deben cortarse ralas. El cirujano debe aprender a manejar sus dedos mediante la práctica continua, siendo de especial importancia el índice y el pulgar. Han de moverse bien, con elegancia, deprisa, con agilidad, limpieza y al momento”

En esta época se soñaba con la posibilidad de realizar una cirugía con fines exploratorios, sin la necesidad de intervenir de manera general al paciente, siendo posible así operar con conocimiento de que se iba a encontrar el cirujano y aumentar las probabilidades de éxito del procedimiento y disminuir las altas tasas de mortalidad de las intervenciones.

Muchos años después, en el año 936, el médico musulmán Albuskasim, nacido en la península Ibérica, fue el primero en desarrollar un sistema con un tubo capaz de reflejar la luz con el objeto de explorar cavidades internas del cuerpo humano, dando así un gran salto tecnológico y conceptual para la cirugía de exploración.

En el siglo XVI, destacaron Wilhelm Fabry de Hilen quien inventó el primer otoscopio y el alemán M.L Valdenburg que diseñó un esofagoscopio formado por un tubo de goma flexible de 8 cm por 1.5 cm y con un espejo que permitía observar la mucosa esofágica.

En el siglo XIX, se produjo el mayor avance en cirugía endoscópica hasta la fecha, cuando el médico alemán Philipp Bozaina creó el primer conductor de luz, formado por un tubo rígido y una cámara de doble óptica que por medio de una vela como fuente de luz reflejaba el haz luminoso en un espejo, permitiendo visualizar cavidades como el recto, la uretra, la faringe y la vejiga, este instrumento está considerado el primer endoscopio moderno.

Con el tiempo se perfeccionó este sistema permitiendo ver el interior gástrico por primera vez con un endoscopio rígido en 1869, el cual sería mejorado por el doctor Rudolph Schindler en 1932 creando una versión flexible de este, estableciendo así el inicio de la cirugía endoscópica moderna.

2. La Cirugía Laparoscópica Convencional

El objeto de la cirugía endoscopia es permitir la observación del interior de cavidades de la forma menos invasiva posible, reduciendo así la peligrosidad y el tiempo de postoperatorio, al presentarse menos traumas, y al mismo tiempo aumentar la precisión y la fiabilidad de futuras intervenciones.

La cirugía endoscópica, engloba varias técnicas de observación directa del interior del cuerpo humano, para ello se utiliza instrumental óptico que se introduce en algún orificio natural o temporal para permitir la visualización del interior del órgano o cavidad, el instrumental principalmente se compone de una fuente de iluminación conectada a una estructura óptica con lentes y esta, a su vez está conectada a una cámara de video y a un monitor de televisión que capturan y muestran la información.

Dependiendo de en qué zona se pretenda introducir el instrumento se diferencian los tipos de cirugías endoscópicas, en este estudio nos centraremos en la cirugía laparoscópica, la cual aborda la intervención desde un orificio en la cavidad abdominal y las zonas próximas a esta.

Las principales ventajas que presenta la cirugía laparoscópica frente a la cirugía tradicional abierta son muchas, existen varios artículos y estudios que apoyan un acercamiento laparoscópico frente a una cirugía abierta por los siguientes motivos:

Por un lado, tenemos el respeto por la pared abdominal, y es que en las laparoscopia no se cortan fibras ni diseccionan planos, se utilizan troncares para distenderlas, de esta forma se minimiza la agresión parietal, así mismo la respuesta del sistema inmunológico a este tipo de cirugía mínimamente invasiva es menor y no queda tan deprimido, de esta forma se obtiene una mejor respuesta a la infección peritoneal, también destaca una clara ventaja en el aspecto estético después de la operación.

Por otro lado, este tipo de cirugía tiene un componente social o participativo, ya que todo el equipo quirúrgico puede visualizar la zona a intervenir, lo cual permite un seguimiento de la evolución de la intervención a todos los niveles y para todos los profesionales reunidos en el quirófano desde el anestesista, hasta el personal de enfermería.

Sobra mencionar que no todas las cirugías laparoscópicas son iguales, ni tampoco lo es el equipamiento del quirófano que se utiliza en ellas.

Podemos encontrar varias formas de clasificar las diferentes cirugías laparoscópicas, en este estudio enfocado a la ingeniería nos centraremos en la metodología determinada por el equipamiento, de esta forma podemos agrupar las intervenciones en dos grupos, el primero siendo la cirugía laparoscópica tradicional, por medio del laparoscopio, y el segundo siendo la cirugía laparoscópica asistida con robot o robotizada, en ambos casos el papel de la ingeniería para seguir apoyando y desarrollando estas es indispensable.

2.1 El Procedimiento de la Cirugía Laparoscópica Convencional

Aunque en este trabajo agrupemos las intervenciones laparoscópicas según el instrumental, existen multitud de factores que distinguen las operaciones entre sí, como es el uso de la anestesia, normalmente la cirugía laparoscópica se realiza con anestesia local, sin embargo en algunos casos es necesario el uso de anestesia general, para ello es imperante realizar un estudio preoperatorio, donde se debe incluir una radiografía de tórax, un electrocardiograma y un análisis de sangre.

De esta forma el procedimiento para realizar una laparoscopia convencional sería el siguiente:

- 1- Realizar un estudio preoperatorio del paciente, en caso de necesitar anestesia general este debe de ser mucho más completo.
- 2- Preparar al paciente para la cirugía: En esta parte del procedimiento es cuando se administra la anestesia y se monitoriza al paciente, al mismo tiempo que el equipo de cirugía se prepara para realizar la intervención.
- 3- El primer paso de la intervención quirúrgica es realizar el neumoperitoneo con insuflación de CO₂, es decir, distender el abdomen con gases.
- 4- Seguidamente se accede a la cavidad insuflada por medio de una o varias incisiones.
- 5- Por estas incisiones se introduce el laparoscopio el cual permite al equipo de cirugía visualizar la cavidad a través de los monitores de televisión.
- 6- El último paso sería realizar la intervención, de ser una cirugía exploratoria se terminaría en el paso anterior.
- 7- Una vez terminada la cirugía empezaría la etapa del postoperatorio.

Como puede intuirse por los pasos necesarios para realizar la intervención, el quirófano requiere de instrumental muy diverso así como el equipo de profesionales que allí se reúne para llevar a cabo una cirugía laparoscópica.

En palabras del doctor Javier Herrero, cirujano y presidente del congreso internacional 'CARS2008' celebrado en Barcelona, *"el quirófano se está convirtiendo en un laboratorio de ingeniería en el cual no sólo hay un cirujano sino también ingenieros y radiólogos"*.

Esta declaración es de inmensa importancia para el mundo de la ingeniería, y es que actualmente se está viviendo una revolución tecnológica en el campo de la medicina, concretamente en la cirugía, y esta revolución en el caso de la cirugía laparoscópica se

divide en dos frentes, por un lado los avances en la tecnología de la imagen y su transmisión, y por otro lado con la aplicación de la robótica en el quirófano.

2.2 Tecnología de la Imagen

Las partes principales del instrumental óptico para realizar laparoscopias son, una fuente de luz para iluminar la cavidad, esta traslada la luz a través de un cable de fibra óptica a un endoscopio que está conectado a una microcámara la cual captura la imagen y se muestra a tiempo real en una o varias pantallas en la torre laparoscópica del quirófano.

Actualmente, existen diferentes tipos de endoscopios, según sean las características de la zona que se desee visualizar las necesidades variarán, los atributos variables del endoscopio son su extensión y la flexibilidad de este. Por ejemplo, el endoscopio que se utiliza para examinar las articulaciones generalmente es rígido, sin embargo en laparoscopias debido a los tipos de tejido que se encuentran en la zona abdominal o colon, se requiere de un endoscopio flexible.

2.2.1 La fuente de luz fría

Es un error convencional creer que la luz fría, cuyo término nos induce a pensar en una baja temperatura, realmente es de menor temperatura que la luz cálida, sin embargo es todo lo contrario, los tonos más azules o blancos de luces, las luces frías, se manifiestan a temperaturas mayores como se muestra en la figura 1.

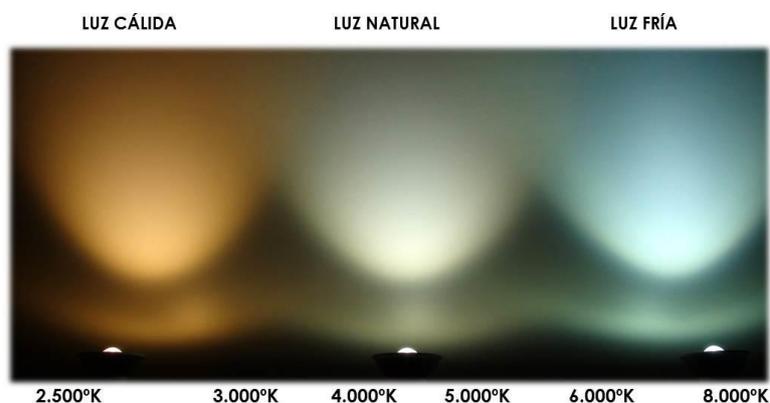


Figura 1. Visual de la luz según temperatura en °Kelvin [23]

Respecto al tipo de bombilla utilizado en quirófano, la mayoría incorporan fuentes de luz de xenón (6000°K), aunque más caras son la luz blanca de mejor calidad y duración, entorno a las 500 horas de vida.

La intensidad de la luz dependerá del campo de trabajo y la profundidad de este, es decir, cada situación requiere diferente intensidad lumínica.

En el caso de las intervenciones laparoscópicas, cuando la zona de intervención es pequeña, poco profunda o con predominio de colores claros que reflejan la luz, es necesario utilizar una menor intensidad de luz.

Sin embargo, en situaciones en las que la zona de operación sea más amplia, con mayor profundidad o en la que predominen colores más vivos, que absorben la luz, como el amarillo o naranja, será necesario el uso de intensidades de luz mayores.

Actualmente la mayoría de instrumental es capaz de adaptar la intensidad de luz de forma automática en función de las características del equipo que captura la imagen, eso sí, este debe de estar calibrado y se debe de realizar un balance de blancos de forma correcta previamente.

2.2.2 El cable de luz fría

La fuente de luz fría se transmite hasta la conexión óptica del endoscopio por medio de un cable de luz fría, este cable es semiflexible y está formado por largas fibras ópticas recubiertas por una funda protectora, en sus extremos se pueden enroscar los diferentes adaptadores, esta normalizado asignar a la fuente de luz como puerto de entrada y endoscopio como salida.

No todos los cables de luz fría son iguales ya que la cantidad de fibras ópticas de vidrio determinan su flexibilidad y resistencia.

Los cables de gel por ejemplo son una alternativa muy utilizada debido a que son más resistentes que los cables de fibra óptica de vidrio, estos últimos se pueden romper con facilidad al doblarse o al aplicar fuerzas de torsión.

La resistencia de los cables de gel se debe a que su cubierta protectora es más gruesa y rígida, sin embargo esto los hacen menos flexibles y manejables, propiedades de suma importancia en determinadas intervenciones de laparoscopia.



Figura 2. Cable de fibra óptica de vidrio con sus posibles adaptadores [18]

2.2.3 El endoscopio

El endoscopio o laparoscopio es un instrumento que está compuesto por una pieza cilíndrica de metal rígido, en esta estructura es donde se encuentran las diferentes ópticas que transmiten la luz artificial proveniente del cable de luz fría.

En el interior de los endoscopios tradicionales se encuentran un conjunto de lentes cuya distribución, orientación y número definen el ángulo de visión y el posible grado de luminosidad de la imagen obtenida del entorno quirúrgico.

Sin embargo, los endoscopios modernos incorporan un chip de imagen, este sensor puede ser de dos tipos CCD (*Charged Couple Device*) o CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*).

En los endoscopios el chip de imagen se encuentra en su extremo distal junto a la lente del objetivo como en el caso de las cámaras digitales. De esta forma se evitan pérdidas de visión que los endoscopios tradicionales habitaban a producirse debido al empañamiento de oculares y visores.



Figura 3. Ópticas del endoscopio: Ventana del objetivo (extremo.izq), Ventana ocular (extremo.der), Conector guía de la luz(centro) [14]

Los endoscopios se clasifican según su flexibilidad, sin embargo esta no es la única característica que varía de unos a otros, el diámetro, los grados de visión o la existencia de un canal de trabajo son propiedades para tener en cuenta a la hora de elegir un laparoscopio adecuado para cada tipo de intervención .

2.2.4 La cámara de video

Existen muchos tipos de videocámaras en el mercado, respecto la parte técnica vamos a dividir las en dos, aquellas que tienen incorporado un solo chip CCD o las que tienen 3 CCD en su interior.

La cámara de video está conectada mediante un cable a la unidad central y tiene un acople con rosca con el que se engancha al ocular de la óptica, de esta forma puede capturar la información, procesarla y transmitirla a un monitor en el quirófano.

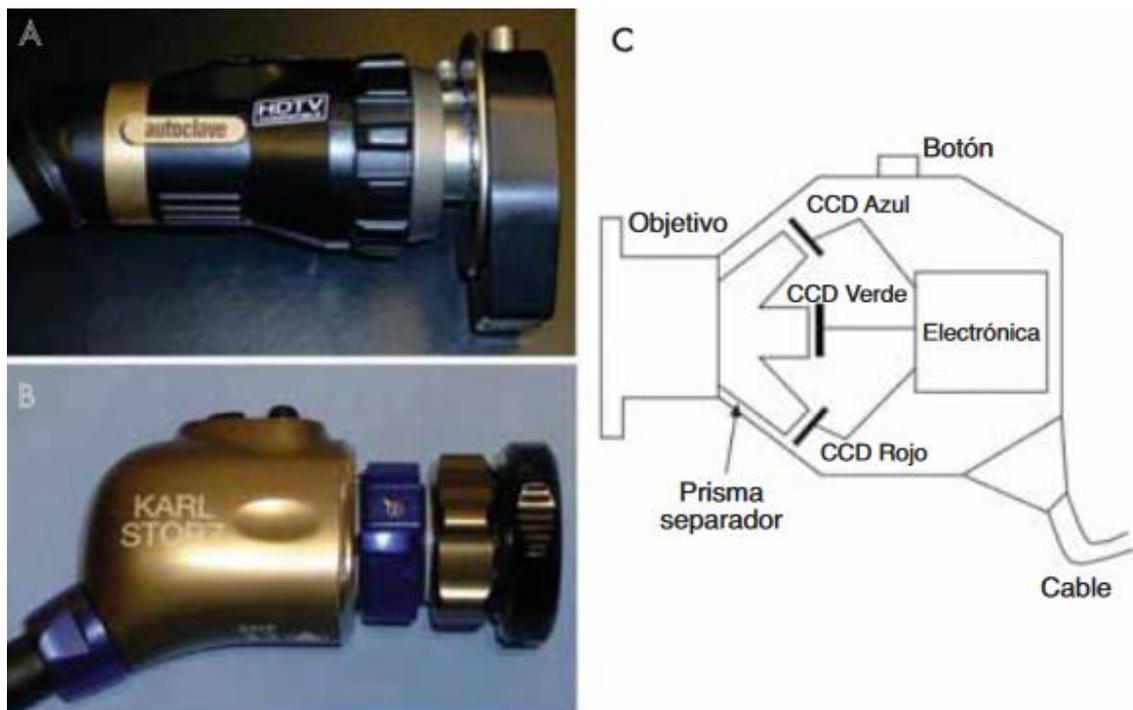


Figura 4. A y B cámaras desmontables HD; C Esquema del funcionamiento de las cámaras con 3 CCD, con el prisma que descompone el haz de luz. [19]

Propiedades de las cámaras de video:

- 1- La Resolución de la imagen: Es la combinación de la cantidad de píxeles que forman la imagen y de la nitidez de esta, a mayor número de píxeles más detalles podrán verse. La nitidez por otro lado, depende de la calidad del sensor de la cámara CCD o CMOS.

La resolución se expresa como dos números enteros, píxeles por fila x píxeles por columna, actualmente las relaciones de aspecto estandarizadas son 4 x 3 y 16 x 9.

Respecto a las resoluciones actuales, la alta definición es la norma en la mayoría de videocámaras de quirófano 1920x1080. Sin embargo, ya se están viendo cámaras con resoluciones mucho mejores, como el 4K, formatos con alrededor de 4000 píxeles de resolución horizontal.

- 2- La Unidad de control de la cámara: A diferencia de las videocámaras convencionales, los controles electrónicos, los puertos de salida de video, así como el encendido y apagado de la cámara no se encuentran en la estructura principal de la cámara, sino que se gestiona en la unidad de control de la cámara fuera del campo quirúrgico conectado a la cámara por medio de un cable blindado.

El balance de blancos también se encuentra en la unidad de control de la cámara y es de vital importancia realizarlo previo comienzo de la intervención con el objeto de obtener la mejor visual posible.

- 3- La Distancia Focal: Es la distancia desde el sensor de la cámara hasta el centro del objetivo de esta, determina la amplitud que la cámara puede capturar. Cada lente objetivo tiene una distancia focal diferente. Dependiendo de la zona e instrumental disponible lo aconsejable será utilizar una distancia focal menor (mayor amplitud) o una distancia focal mayor (menor amplitud), a mayor amplitud menor detalle, la figura 5 muestra dos ejemplos de distancias focales.



Figura 5. Diferencias de amplitud según distancia focal: 11 mm (izq.) y 90 mm (der.). [17]

- 4- La sensibilidad de la luz: Es la cantidad mínima de luz (lux) requerida por la video cámara para capturar la información especificada, la sensibilidad a la luz de la cámara depende del sensor que esta tenga incorporado.

3. Tecnología robótica: Sistema Da Vinci

La principal alternativa al procedimiento tradicional con el uso de endoscopio es la cirugía asistida por robot, la evolución más reciente de la cirugía mínimamente invasiva.

En Europa el robot Da Vinci es el más utilizado, consta de una consola de control ergonómica con la cual el cirujano maneja los 4 brazos robóticos intercambiables acoplados en el extremo distal del robot, así mismo es un entorno participativo ya que el sistema Da Vinci dispone de un monitor con el que se puede observar el transcurso de la intervención por todos los miembros del equipo.

En la consola de control se encuentran los controles ergonómicos del robot así como un visualizador 3D del entorno de trabajo, esto supone un gran avance en materia de cirugía endoscópica ya que hasta la fecha, el endoscopio solo puede presentar las imágenes en 2D, la estereoscopia conseguida gracias a las cámaras que el robot Da Vinci tiene incorporadas y a la consola de control suponen a priori un gran avance en materia quirúrgica.

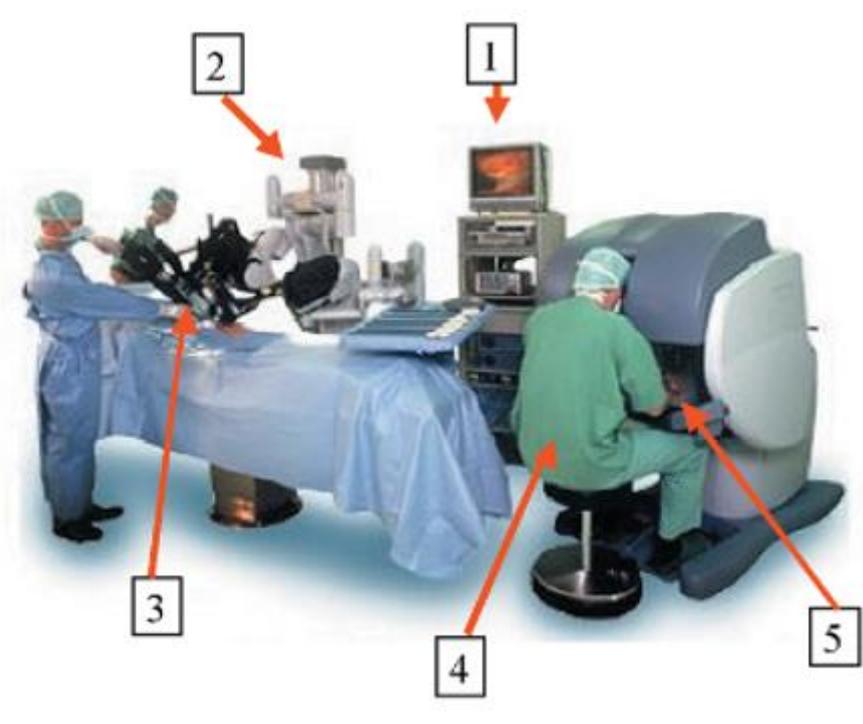


Figura 6. Sistema Da Vinci: Monitor (1), Robot (2), Brazos Intercambiables (3), Visor del Cirujano (4), Consola de Control (5). [25]

3.1 El Robot Da Vinci

El robot posee 13 grados de libertad en total, siendo 7 del tipo motorizado, 4 de estos en color rojo, dos en el rectángulo y otros dos en la circunferencia en la figura 7, los tres restantes se encuentran en el interior del paciente y son los responsables del movimiento de la pinza. De los 13 grados de libertad, faltarían otros 6 del tipo no motorizados, los cuales forman parte de la estructura funcional del robot, una estructura cinemática de doble paralelogramo (circunferencias verdes).

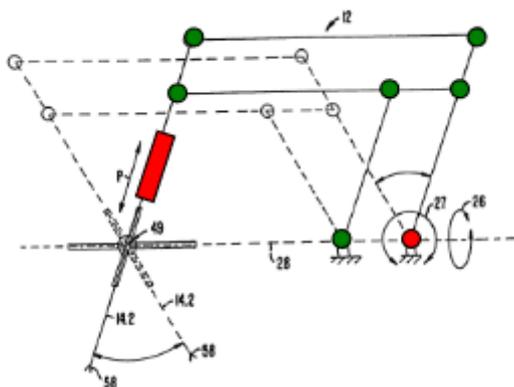


Figura 7. Estructura del manipulador de doble paralelogramo. [9]

La base del robot Da Vinci está vertebrada por tres manipuladores de doble paralelogramo, en su extremo dos son brazos quirúrgicos intercambiables con pinzas y el tercero es un porta-endoscopio, el cual proporciona la visión al cirujano.

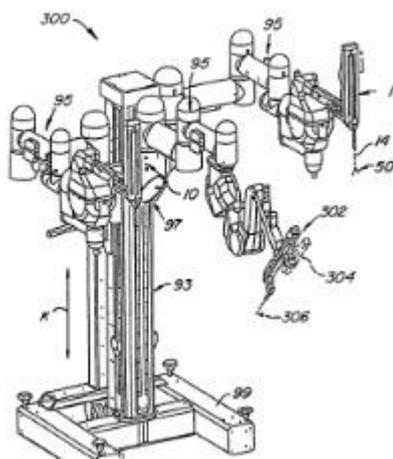


Figura 8. Base del robot Da Vinci. [9]

3.2 El Sistema Da Vinci en España

El robot quirúrgico Da Vinci está aprobado por la FDA en Estados Unidos y por el Certificado Europeo del CE, para su uso en cirugías abdominales, Cardíacas, Toracoscopias, ginecológicas y Urológicas en los países de la Unión Europea.

España es uno de los cuatro países europeos con mayor número de estos robots, situándola a la cabeza de la cirugía robótica, tanto en intervenciones quirúrgicas como en programas de entrenamiento de nuevos cirujanos, médicos de otros países viene a hospitales de España a formarse en este tipo de procedimientos.

En 2018 en España había 45 robots Da Vinci, siendo las comunidades de Madrid y Cataluña las que más servicios de cirugía robótica disponían. Desde entonces España ha incorporado nuevos robots con el objeto de ser pionera en el mundo en este tipo de intervenciones.

A finales de 2021 encontramos un notable incremento en la cantidad de robots Da Vinci en funcionamiento en España, 86 según los datos publicados por las comunidades autónomas, y con ello viene implícito el trabajo de probar, mantener y diseñar programas de apoyo para este tipo de cirugía.

El escenario perfecto para que ingeniería y medicina se complementen como mencionaba el Doctor Javier Herrero.

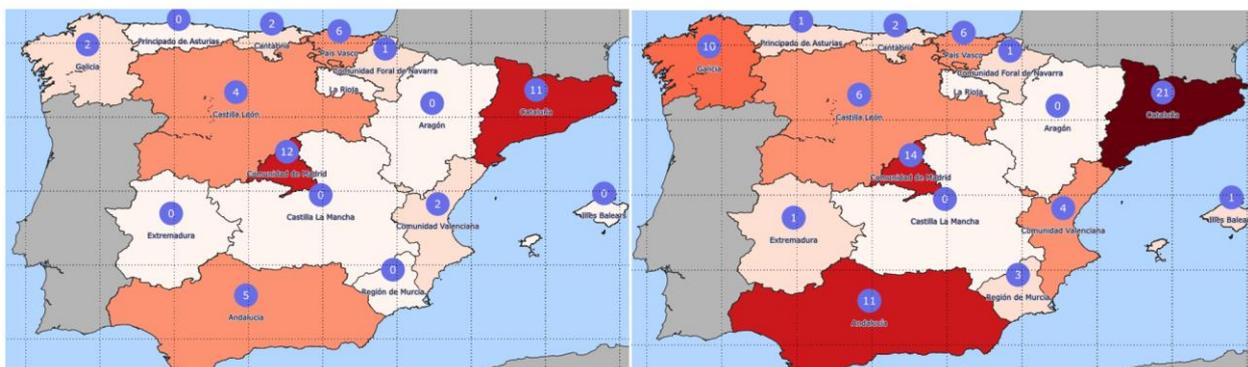


Figura 9. Mapas de Intensidad según robots Da Vinci: Península 2018 (izq.) Península 2021 (der.).

4. Comparativa entre Laparoscopia convencional y Asistida por Robot

Es difícil comparar de forma general la laparoscopia convencional con la intervención laparoscópica asistida por robot Da Vinci, no todas las intervenciones son iguales a pesar de tener el mismo fin. Existen muchos factores particulares tanto del paciente como del equipo médico que pueden alterar el resultado del procedimiento o condicionarlo, es por eso por lo que para realizar con propiedad un análisis comparativo de las dos técnicas es necesario que se cumplan ciertos requisitos:

- 1- Se deben de discriminar por metodología: laparoscopia convencional, cirugía abierta o cirugía asistida con robot Da Vinci.
- 2- Se debe de extraer la información de fuentes oficiales o con reputada credibilidad como Medline, Scopus, Clinical Trials o Google Scholar.
- 3- La muestra poblacional de estudio debe de ser lo suficientemente amplia como para descartar particularidades.

En un artículo de 2019 [10] publicado en PubMed, los autores realizan un meta-estudio comparativo entre la cirugía por laparoscopia convencional, asistida con robot y la tradicional abierta, este artículo recoge 83 estudios que comparan estas técnicas y cumplen los requisitos establecidos anteriormente.

Los resultados del meta-análisis son:

“Anastomoses done using robotic instruments provided similar results to those done using laparoscopic or open approach in regards to anastomotic leak or stricture. However, there were lower rates of stenosis in robotic than in laparoscopic RYGB ($p=0.01$) and in robotic than in open radical prostatectomy ($p<0.00001$). Moreover, all anastomoses needed more time to be performed using the robotic rather than the open approach in renal transplant ($p\leq 0.001$).”

“Las anastomosis realizadas asistidas por robot proporcionaron resultados similares a los realizados mediante un abordaje laparoscópico o abierto con respecto a la fuga o estenosis de la anastomosis. Sin embargo, hubo tasas más bajas de estenosis en la BGYR (Bypass Gástrico en Y Roux) robótica que en la laparoscópica ($p=0,01$) y en la prostatectomía radical robótica que en la abierta ($p<0,00001$). Además, todas las anastomosis necesitaron más tiempo para realizarse con el abordaje robótico que con el abierto en el trasplante renal ($p\leq 0,001$).”

El estudio concluye que los procedimientos de anastomosis asistidas con robot proporcionan el mismo resultado que el abordaje laparoscópico convencional o la cirugía abierta.

Sin embargo, aunque el resultado de la intervención es el mismo, no son iguales los resultados postoperatorios para el paciente ni la intervención en si misma para el equipo médico.

Otro estudio publicado en PubMed realizado por los autores Van Koughnett JA, Jayaraman S, Eagleson R, Quan D, van Wynsberghe A y Schlachta CM [24], analiza las ventajas de utilizar cirugía asistida por robot Da Vinci desde la perspectiva del cirujano, el estudio analiza 20 intervenciones de anastomosis 10 realizadas por laparoscopia convencional y las otras 10 por el sistema robótico Da Vinci.

Los resultados del estudio demuestran que la cirugía con el sistema Da Vinci es superior en 8 de los 13 factores que se cuantificaron, la calidad de la imagen, la percepción de profundidad, el confort del cirujano, la fatiga ocular, la destreza, la precisión motora, el alcance y la velocidad, en todos ellos se impuso el acercamiento por asistido con robot Da Vinci.

Ampliando esto último, otro estudio de 2006 [25], demuestra que la anestesia necesaria para la intervención, el tiempo de hospitalización y la pérdida de sangre son menores en los casos en los que se utilizó cirugía robótica, con el inconveniente de que es más difícil de aprender para los cirujanos y que requiere de más tiempo que la cirugía abierta.

2ª PARTE: ¿QUE PUEDE APORTAR EL CAMPO DE LA GEOMÁTICA A LA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA?

1. Conceptos Previos

El campo de la geomática está formado por diversas disciplinas, que se pueden agrupar en, aquellas que capturan información espacial como la topografía, teledetección, fotogrametría o los sistemas de posicionamiento global(GNSS), y por las disciplinas que administran la información, principalmente los sistemas de información geográfica(SIG), pero también los sistemas de bases de datos, de procesamiento de imagen digital, programas de modelado tridimensional o el BIM.

Basándonos en la definición anterior, la geomática actualmente tiene aplicaciones en el campo de la medicina, interviene en la captura y modelización de datos para generar información de alta precisión en el diagnóstico y seguimiento de determinadas patologías. Estos productos son clave a la hora de prevenir y detectar con antelación algunas enfermedades.

1.1 El Espectro Electromagnético

Las ondas electromagnéticas, son ondas armónicas formadas por una componente eléctrica y otra magnética, el espectro electromagnético es la clasificación de estas ondas según su longitud.

Es un concepto complejo que para desarrollar de forma exacta requeriría de la revisión y el análisis de la fórmulas de la teoría cuántica para explicar la dualidad de su comportamiento. Sin embargo, en este estudio vamos a intentar explicar de forma sencilla pero clara y correcta los conceptos relacionados con las aplicaciones geomáticas.

La luz visible la componen los diferentes colores que podemos percibir, desde el rojo hasta el azul y violeta todos ellos son en realidad la radiación electromagnética que emiten o reflejan los objetos de los cuales provienen. Cada uno de estos tonos de color corresponde a una longitud de onda diferente.

No solo la luz visible son ondas electromagnéticas, de hecho, la luz que podemos percibir es una pequeña parte de todo el espectro electromagnético, el cual engloba desde las ondas de radio de varios metros de longitud de onda, hasta peligrosos rayos como la radiación gamma de longitudes de onda del orden de magnitud de 10^{-12} m.

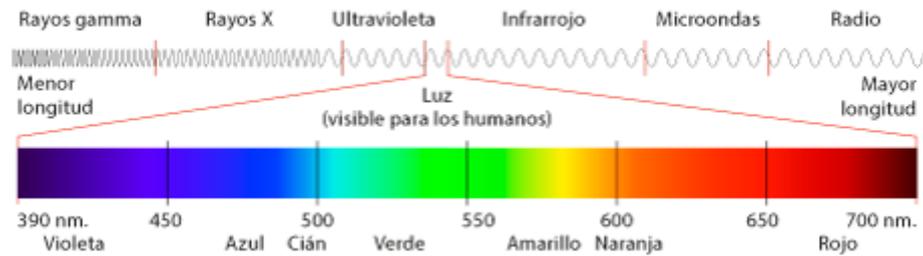


Figura 10. Espectro Electromagnético [7]

Así mismo, el espectro electromagnético puede expresarse en términos de energía radiante (Q), frecuencia (F) o longitud de onda (λ), ya que estos están correlacionados según las siguientes ecuaciones:

$$c = \lambda * F \quad (1)$$

$$Q = h * F \quad (2)$$

Sustituyendo podemos expresar:

$$Q = h * \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

Donde :

- c es la velocidad de la luz en el vacío, $c = 299.792.458$ m/s
- h es la constante de Planck (6.6×10^{-34} Js)

De estas ecuaciones podemos comprobar que las ondas de longitudes cortas tienen energía y frecuencia altas y viceversa.

1.2 Tecnología Laser

Un láser es un haz de luz poco disperso y cuya divergencia también es poca con longitudes de onda bien definidas, es decir, una banda estrecha del espectro electromagnético. El término coherencia define de forma precisa las características de un haz de luz láser.

Propiedades de la luz laser:

- La luz láser suele estar formada por bandas del espectro electromagnético de longitudes de onda largas, esto le otorga a la luz láser la característica de tener una distancia de propagación muy alta.
- La luz láser tiene un bajo índice de dispersión, esto le confiere la cualidad de propagarse en una dirección bien definida, una línea recta.
- Las bandas del espectro electromagnético que conforman un haz láser suelen ser muy estrechas, confiriendo a la luz láser unos colores bien definidos y un patrón granular.
- Debido a lo bien definidas que están las bandas electromagnéticas que forman el láser, este está polarizado linealmente, es decir, la componente del campo eléctrico de la onda electromagnética fluye en una dirección en particular.
- Las ondas electromagnéticas que forman el láser viajan a velocidades cercanas a la velocidad de la luz en el vacío, confiriendo a la luz láser una extraordinaria velocidad de propagación.

La principal aplicación de la tecnología láser en el campo de la geomática es su uso en la medición de distancias, la mayoría de los escáneres incorporan tecnología láser para capturar la información geométrica.

1.3 La Fotogrametría

Las técnicas fotogramétricas tienen como objeto definir y estudiar con precisión las características geométricas de un objeto cualquiera a partir de una o varias fotografías, es decir, la fotogrametría es la ciencia que utiliza información capturada en 2D con una cámara para hacer medidas.

Las aplicaciones de la fotogrametría son muchas, principalmente en el campo de la topografía y la cartografía, sin embargo existen metodologías de fotogrametría de objeto cercano que nos permiten a través de imágenes capturadas desde diferentes ángulos crear un modelo tridimensional sobre el cual poder medir con confianza distancias.

La fotogrametría se recomienda cuando:

- El objeto que se pretende medir no es accesible.
- El objeto no es un cuerpo rígido.
- Se requieren las mediciones de un objeto móvil en un momento determinado.
- El tamaño del objeto es muy pequeño.
- Realizar una medición directa influiría en el objeto.

1.3.1 Proceso fotogramétrico

El proceso fotogramétrico son todas aquellas fases consecutivas que resultan en la obtención de los productos fotogramétricos, planos cartográficos, modelos digitales de elevación del terreno, ortofotos o nubes de puntos 3D entre otros.

Como en todo proyecto formado por fases consecutivas, los errores y las precisiones finales se determinan a partir de la acumulación de ellos durante todo el proceso, es decir, la calidad del producto resultante depende de la calidad de cada una de sus fases.

Los datos de partida de un proyecto fotogramétrico son dos o más fotogramas, es necesario realizar una orientación interna para dotar de sistema de referencia al proyecto, este puede ser absoluto, local, instrumental u objeto.



Figura 11. Fases del proceso fotogramétrico digital [16]

En la fase de orientación relativa, es donde se relacionan geoméricamente las imágenes, consiste en buscar puntos homólogos en las imágenes. Este proceso de correlación se realiza automáticamente, sin embargo requiere de revisión por parte del usuario para poder restituir correctamente las imágenes más adelante.

La orientación absoluta es la corrección de escala, nivel y parámetros de traslación adecuados para obtener el modelo en su posición verdadera, para ello es necesario disponer de puntos de apoyo previamente seleccionados.

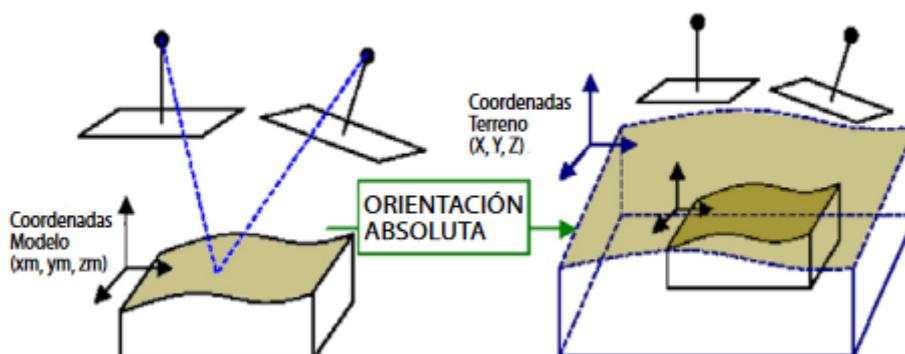


Figura 12. Esquema de la Orientación absoluta [16]

1.3.2 Fotogramétrica de objeto cercano

Como menciona la autora **Balaguer Puig, Matilde** en “*Fotogrametría de Objeto Cercano. Conceptos básicos*”, la definición de la fotogrametría de objeto cercano es, en sus palabras:

“Fotogrametría terrestre aplicada a la obtención de medidas geométricas a partir de fotografías o imágenes tomadas desde la superficie terrestre a una distancia a los objetos superior a 10 cm e inferior a 300 m.

La fotogrametría de objeto cercano tiene aplicaciones principalmente no topográficas, para el estudio de procesos de cambio o la reconstrucción de objetos arquitectónicos, en medicina y en diseño industrial.” [12]

Las técnicas de fotogrametría de objeto cercano nos permiten obtener nubes de puntos tridimensionales de objetos de entre 0.1 y 200 m, con precisiones de 0.1 mm con las condiciones adecuadas.

1.4 Técnicas Escaneado 3D no invasivas

Las técnicas de captura 3D no invasivas son aquellas metodologías que permiten obtener los datos 3D a partir de técnicas de luz que no alteran el entorno ni el objeto del que se desea capturar la información geométrica. La fotogrametría de objeto cercano es una de estas técnicas.

1.4.1 Luz estructurada

La captura de información 3D por medio de luz estructurada consiste en utilizar patrones de luz al mismo tiempo que se fotografía el objeto, permitiendo calcular la deformación del objeto y así, obtener su información geométrica, distancia desde cada punto.

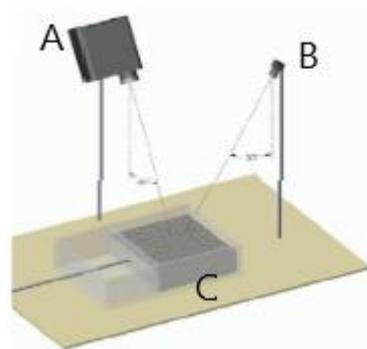


Figura 13. Sistema de luz estructurada: Emisor de luz (A), Cámara (B), Objeto (C) [13]

El patrón de luz suele estar formado por una serie de bandas de luz blanca o azul, aunque también encontramos matrices de puntos u otras formas geométricas.

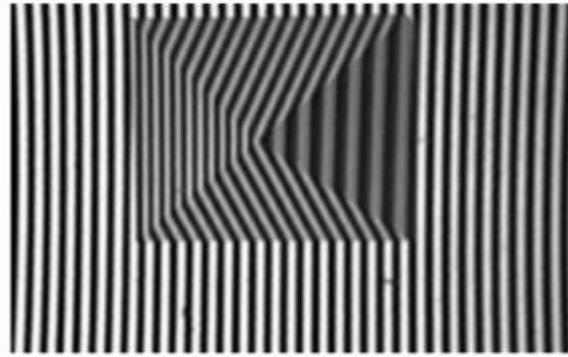


Figura 14. Pirámide bajo un patrón de Ronchi [13]

La luz estructurada, es un método de obtención de datos 3D directo, es decir, se pueden calcular las coordenadas del objeto de forma directa con los datos obtenidos del escaneado, por medio del método de triangulación fotogramétrico.

Esta técnica permite conseguir precisiones del orden de los 0.05mm, sin embargo es más difícil realizar mediciones con este tipo de tecnología ya que los escaneos deben de realizarse con poca luz. Sin embargo, es ideal para objetos que se puedan desplazar a un laboratorio con las condiciones adecuadas.

1.4.2 Escáner 3D por triangulación

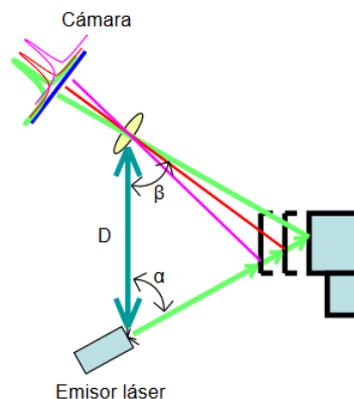


Figura 15. Esquema de un sistema de Escaneo Tridimensional [11]

El escáner 3D de triangulación es muy parecido al escáner mencionado con anterioridad, sin embargo presenta varias diferencias. Estos escáneres no proyectan de forma continua los diferentes tipos de patrones de luz, emiten únicamente un solo tipo de patrón fijo de luz, este puede variar dependiendo del modelo.

Los patrones más característicos de este tipo de escáneres son líneas o cuadrículas, aunque existen muchos otros, este tipo de escáneres pueden emitir su patrón de luz en diferentes bandas espectrales, luz microondas o infrarroja por nombrar algunas.

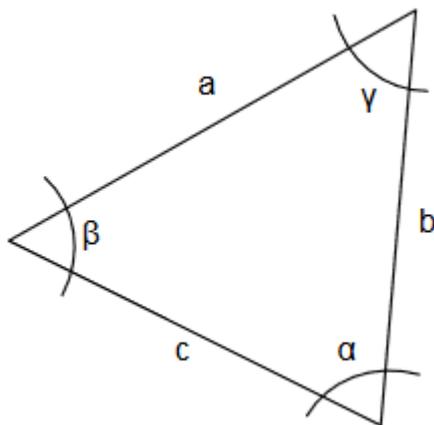
El instrumento de captura de información 2D puede tomar imágenes o video, las cámaras suelen dar resultados más precisos, del orden de 0.5 mm los más asequibles, por otro lado los equipos de mayor coste son capaces de garantizar precisiones de 15 micras con las condiciones adecuadas.

La metodología de trabajo suele consistir en posicionar el emisor de luz y la cámara de forma fija a unos 50 cm del objeto y rotar este, tomando las fotografías en todas sus posiciones. Sin embargo dada su naturaleza portátil se puede realizar un escaneo de un objeto inmóvil desplazando y rotando el escáner de triangulación.



Figura 16. Escáner SENSE de 3D Systems: Modelo portátil [15]

Los cálculos matemáticos para obtener el modelo 3D se basan en los principios de la triangulación, a partir de los teoremas de seno y el coseno, el triángulo se forma como puede apreciarse en la figura 15.



$$\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)}$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2.b.c.\cos(\alpha)$$

$$c = a.\cos(\beta) + b.\cos(\alpha)$$

Figura 17. Principios de la triangulación [11]

2. Principales vías de Investigación relacionadas con la Geomática

2.1 Creación de modelos 3D para cirugía

Una de las principales vías de investigación es la creación de modelos tridimensionales aplicados para su uso en cirugía. Estos se pueden clasificar en, modelados de partes del cuerpo, es decir, modelados anatómicos como pueden ser órganos o zonas de tejido óseo.

Por otro lado, los modelados no anatómicos son representaciones tridimensionales cuyo objetivo es ayudar en la planificación y gestión de la evolución del paciente o el propio centro médico, encontramos desde modelados 3D de salas enteras de hospitales hasta simuladores de entrenamiento de nuevos cirujanos.

Independientemente del fin de un modelo 3D, todos los proyectos 3D siguen un esquema similar de trabajo:

- Para crear un modelo 3D, lo primero es capturar la información y generar una o varias nubes de puntos, esto se puede realizar con muchas técnicas diferentes, dependiendo del objeto a escanear y las precisiones requeridas se utilizarán unas u otras.
- Las nubes de puntos generadas deben de orientarse y restituirse, de esta forma se obtiene el modelo tridimensional “crudo” o sin editar. Este paso es el más importante y su calidad dependerá de lo buenos que sean los datos capturados.
- Una vez se obtiene el modelo tridimensional “crudo”, es necesario aplicar diferentes procedimientos con el fin de depurarlo y obtener su resultado, el modelo 3D sin ruido y bien definido, así como de asignarle textura o colores, esto último dependerá de si en la captura de datos se han realizado fotografías o se ha planificado previamente.

2.1.1 Modelados 3D anatómicos

El proyecto “The Toronto Video Atlas of Surgery” [21] de la universidad de Toronto, Canadá, está diseñando un modelado 3D virtual del atlas anatómico, con el fin de formar a cirujanos en problemas complejos de los campos de la cirugía hepatobiliopancreática, trasplantes de órganos, la ginecología y otorrinolaringología, así como a pacientes y sus familias de procedimientos más sencillos.

Los autores de este proyecto han realizado, mediante técnicas de captura de datos fotogramétricos, varios modelados 3D, dos de los más interesantes son la creación de un modelo 3D de una pelvis, tejido óseo, y de un hígado, tejido orgánico.

Para la realización de la pelvis, se tomaron las fotografías de esta desde todos los ángulos posibles, rotando la cámara así como la estructura ósea. Al utilizar una técnica de fotogrametría de objeto cercano, las condiciones de iluminación deben de ser óptimas e iguales en todas las tomas para obtener un buen resultado.

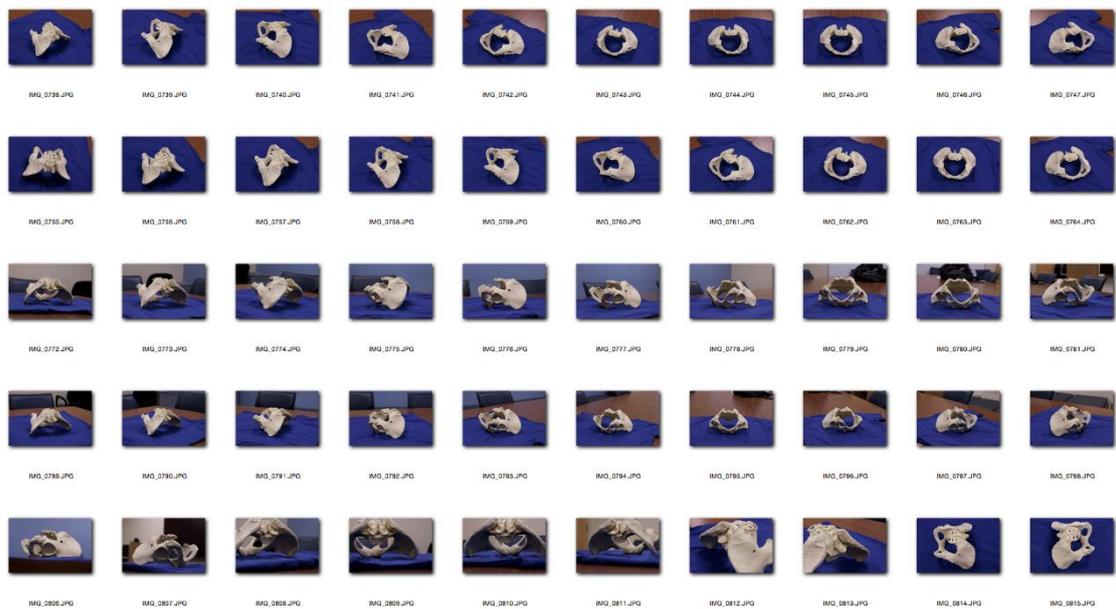


Figura 18. Fotográficas de la pelvis [21]

Una vez tomadas las fotografías, estas se importan al software de procesado 3D, donde después de realizar diversas fases se acaba obteniendo el modelado 3D de la pelvis.

1. Import image set		<1m
2. Mask photos (optional) via Masquerade		Max 5m per photo
3. Orient photos > create Sparse Point Cloud		
Default		~5 m
Deep		~10m
Exhaustive		>1hr
4. Create Dense point cloud		
Fast		<10m
Default		~10m
High details		> 1hr
5. Create Mesh		~Variable
6. Create Textured Mesh		
Low Poly		~5min or <
Default Single Texture		~5min
Default Multi Texture		10-20m
High Details		1hr or ^

Figura 19. Flujo de trabajo [22]

El modelo 3D que se obtiene no es perfecto, sin embargo presenta gran utilidad sobre todo para el campo de la ortopedia y las prótesis.

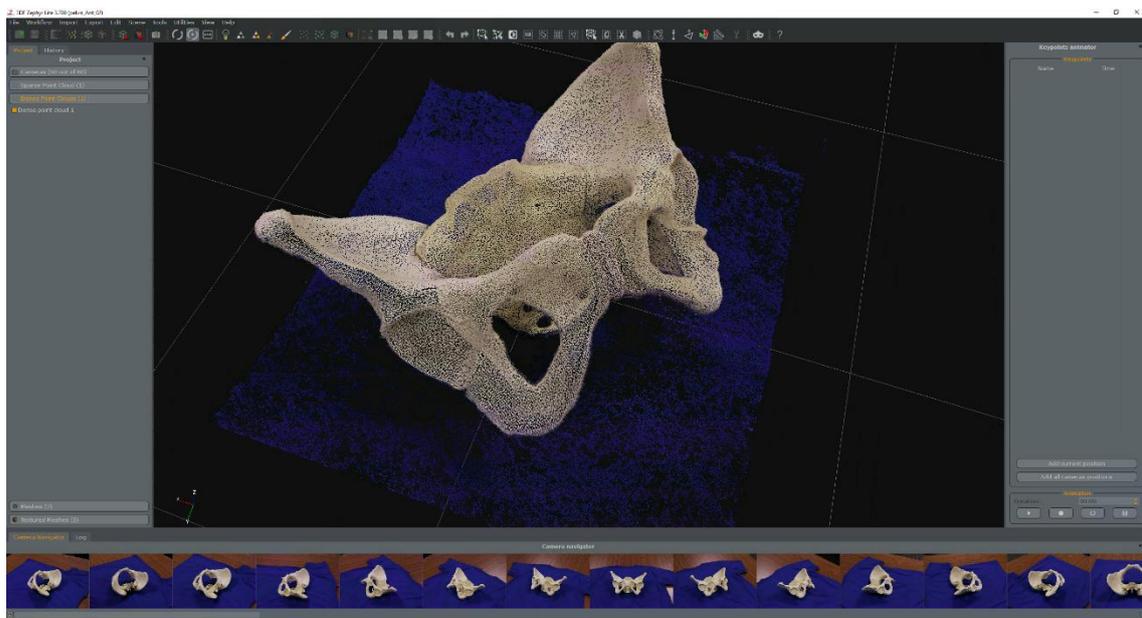


Figura 20. Modelo 3D Pelvis [21]

Por otro lado, para la realización del modelado de un hígado utilizando técnicas fotogramétricas, se procesó la información geométrica con el software 3DFlow Zephyr. El flujo de trabajo y la metodología seguida fue la misma que en el caso anterior.

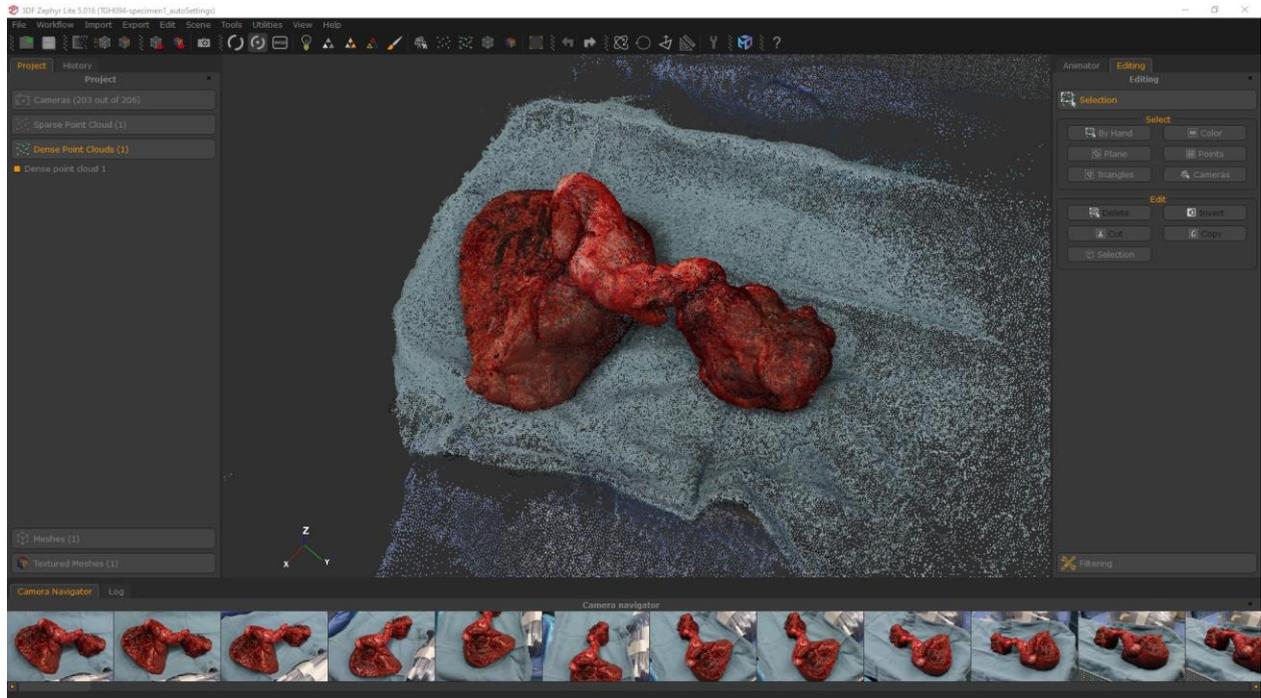


Figura 21. Nube de puntos densa del Hígado [22]



Figura 22. Modelo 3D del Hígado [22]

- **Casos aplicados en cirugía laparoscópica**

En la Unidad de Cirugía Hepatobiliopancreática del Hospital Universitario Infanta Elena, se realizó un programa de integración de modelado 3D con el objeto de poder realizar simulaciones previas de la intervención y pensar diferentes formas de enfocar la cirugía.

El modelado 3D se realizó a partir de las pruebas de diagnóstico realizadas al paciente como ecografías, resonancias magnéticas y escáneres.

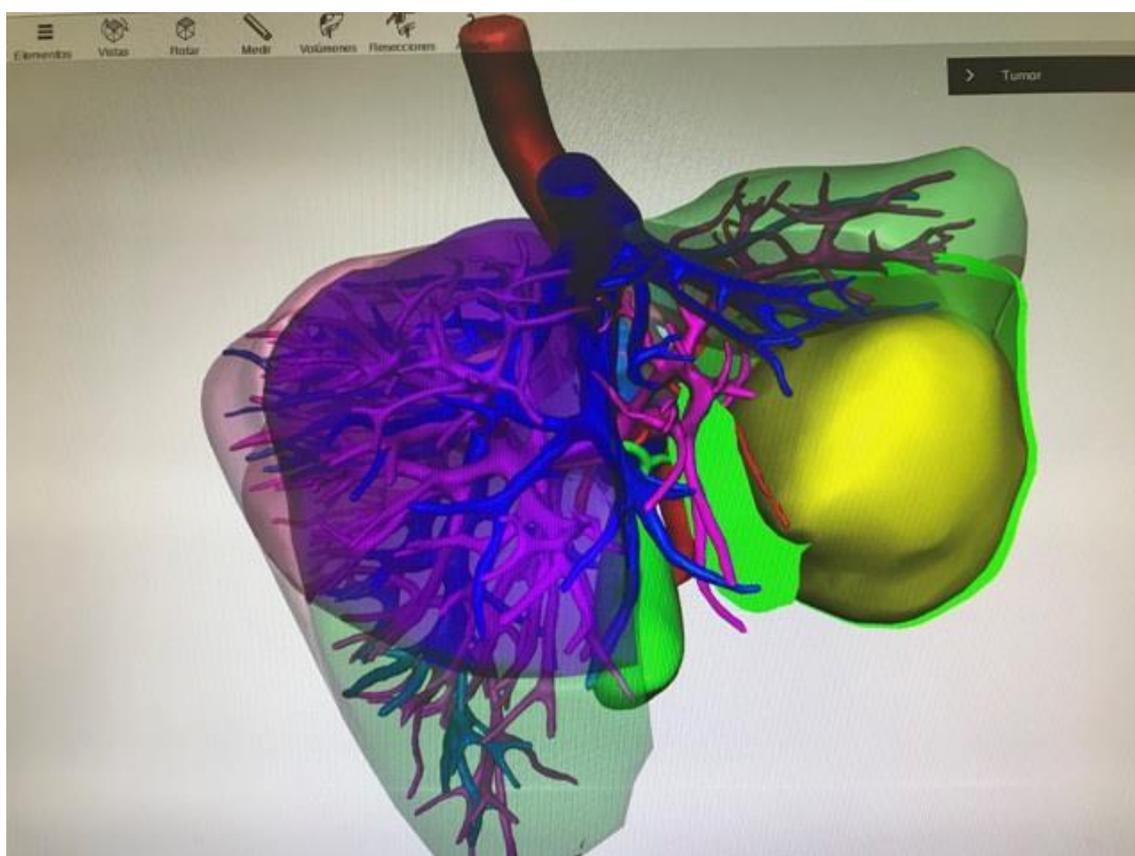


Figura 23. Modelo 3D Virtual del Hígado con Tumores [8]

Estos modelos 3D una vez impresos, permiten su uso durante la operación ya que son estériles y se presentan en el campo quirúrgico durante la intervención.



Figura 24. Modelo 3D del Hígado con Tumores [8]

Otro caso parecido es el del hospital General de Villalba donde se realizó un modelo del hígado del paciente con 8 nódulos cancerígenos en la parte central del hígado.

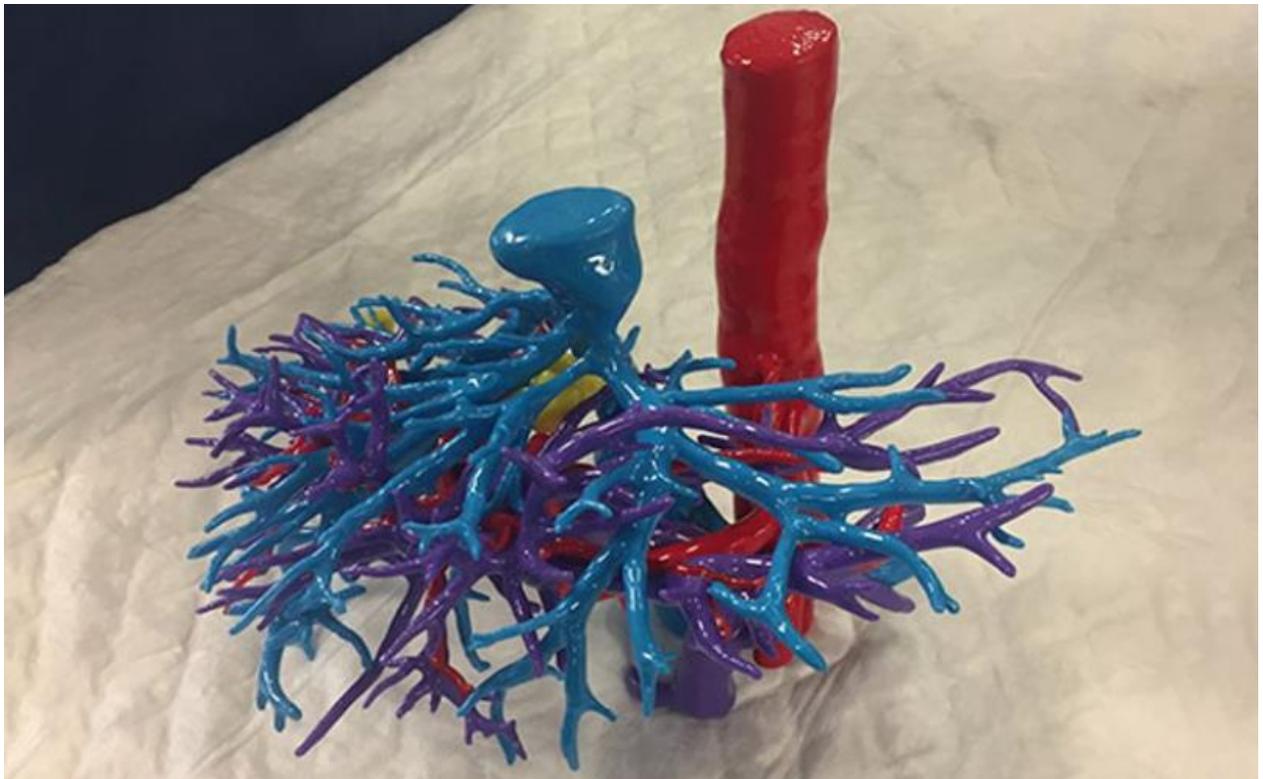


Figura 25. Modelo 3D del Hígado con Tumores Centrales [8]

El doctor Georgiev concluye después de terminar la intervención con éxito:

“Gracias a esta planificación entramos en quirófano con una idea muy clara de lo que queríamos hacer, y de lo que, finalmente, hemos podido hacer: una cirugía muy compleja pero en la que el paciente ha podido preservar el volumen máximo posible de hígado y al mismo tiempo se ha podido extirpar toda la enfermedad”

También encontramos uso en los modelados anatómicos, a la hora de instruir a cirujanos en nuevos procedimientos como en el caso del simulador quirúrgico ProMIS, desarrollado por la empresa Haptica, dispone de 5 módulos de entrenamiento: laparoscopia convencional, manejo de instrumentos, diatermia, saturado y disección.

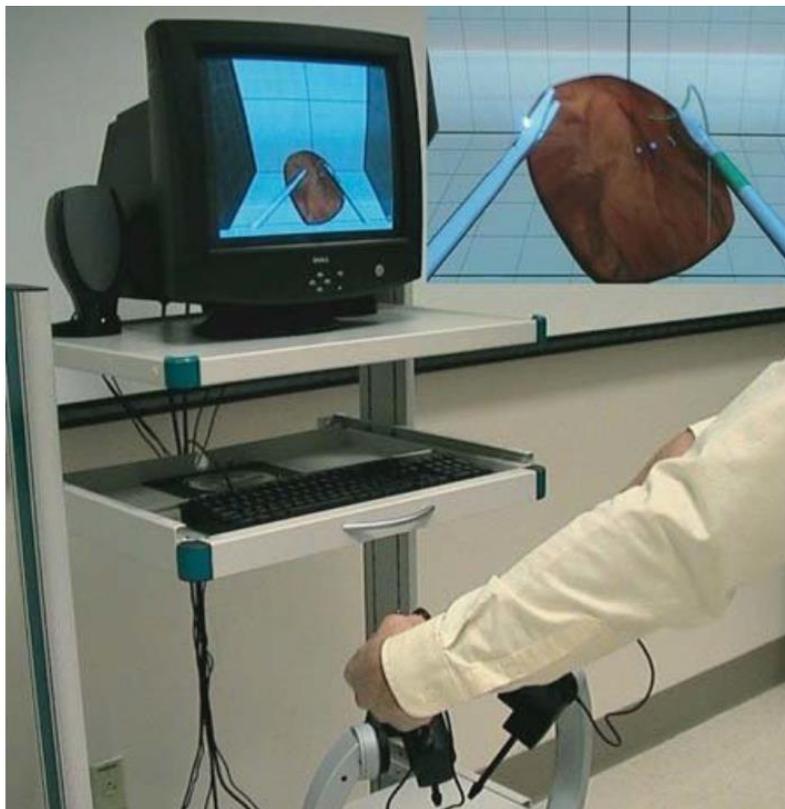


Figura 26. Simulador de Entrenamiento ProMIS [4]

2.1.2 Modelados 3D no anatómicos

La creación de modelos 3D no solo es útil en el caso de los modelos anatómicos para realizar intervenciones personalizadas. También hay un gran abanico de aplicaciones para los modelos no anatómicos:

- En el diseño y construcción de nuevas herramientas robóticas, la simulación 3D nos permite comprobar el comportamiento de sistemas robóticos reales sin necesidad de construir estos costosos prototipos, modificando y perfeccionando el diseño en un entorno virtual.
- Modelos 3D que no tienen como intención instruir cirujanos, si no de planificar las cirugías, como es el caso de los modelos 3D de manipuladores de laparoscopia.

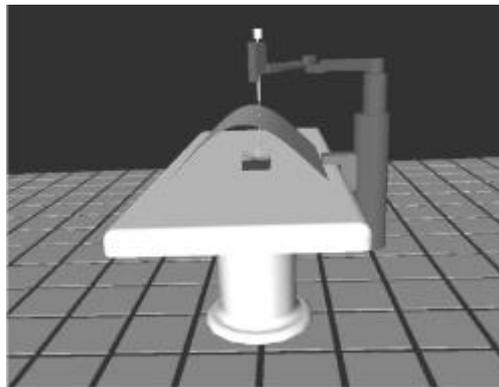


Figura 27. Modelo 3D de un manipulador de laparoscopia [20]

Así mismo, otro ejemplo podemos encontrarlo en un simulado tridimensional del robot Da Vinci, muy importante a la hora de planificar cirugías complejas y con muchas partes implicadas, como es el caso de la cirugía de corazón.

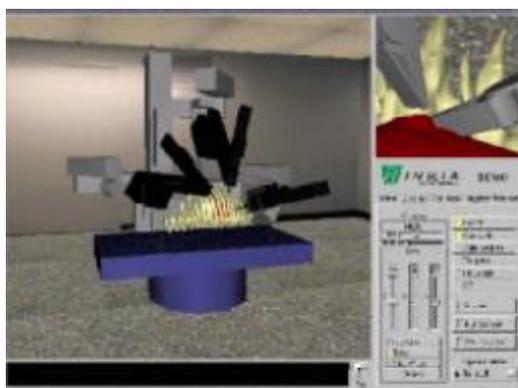


Figura 28. Modelo 3D del Sistema Da Vinci [1]

2.2 Desarrollo de Endoscopios con Fluorescencia

Actualmente se están fabricando los primeros endoscopios con uso de tecnología multibanda y fluorescencia. En la laparoscopia es fundamental el reconocimiento de los diferentes tipos de estructuras que componen el entorno quirúrgico, una tarea compleja ya que el interior del ser humano no es homogéneo ni está compuesto por una misma tonalidad de colores. Por ello la luz fría a pesar de ser neutra en términos de calidad visual podría ser inferior respecto a utilizar fluorescencia de diferentes tonos en determinadas zonas.

Con estos nuevos equipos se puede aumentar la información visual y facilitar la detección de ciertas estructuras.

La fluorescencia combinada con luz de longitudes de onda perteneciente al infrarrojo cercano, puede facilitar el reconocimiento de ciertas estructuras internas de la zona intestinal.

El profesor Luigi Boni, del hospital Policlínico de Milán analizó el uso de fluorescencia verde de indocianina (ICG) y luz infrarrojo cercano (NIR) y concluyó que permite en algunos casos identificar de forma más rápida ciertas estructuras anatómicas.

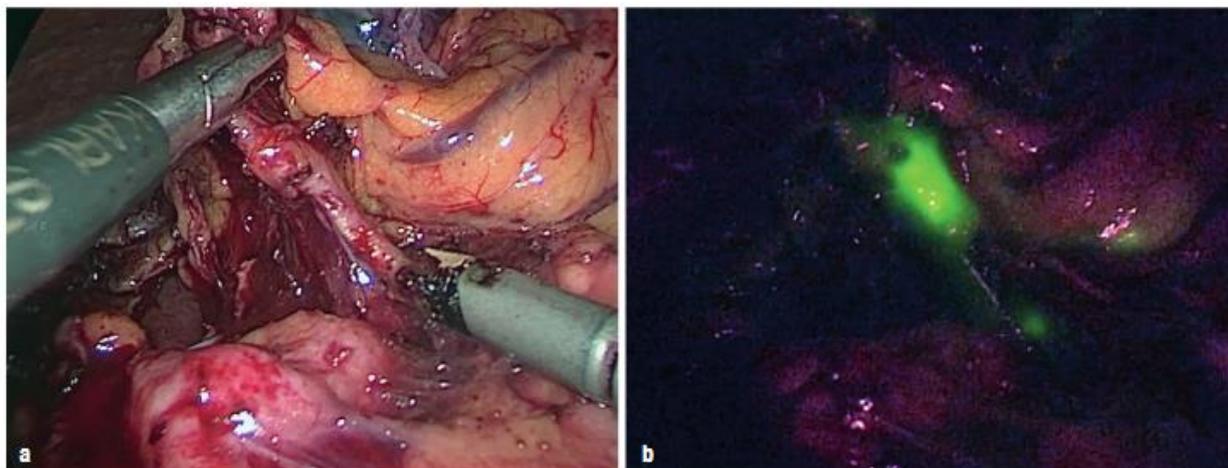


Figura 29. Identificación de nodo linfático: Luz fría (a), NIR/ICG (b) [6]

En su estudio [6], se expone como el uso de herramientas con tecnología multibanda y fluorescencia permiten incluso identificar zonas hepáticas con metástasis, facilitando la extracción de estas de forma completa.

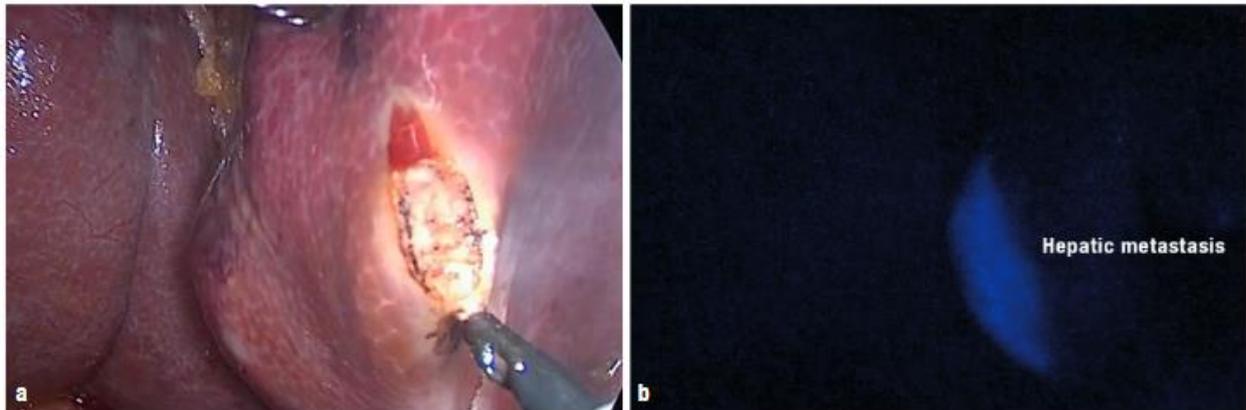


Figura 30. Identificación de zona con Metástasis Hepática: Luz fría (a), NIR/ICG modo azul (b) [6]

2.3 Diseño de Sistemas de Visión Laser para Robots Quirúrgicos Autónomos

A pesar de considerarse al sistema Da Vinci como cirugía robótica, no es más que una herramienta que asiste al cirujano con visión estereográfica y controles manejados desde una consola ergonómica fuera del entorno de trabajo.

La automatización de las cirugías aún está muy lejos, sin embargo, el primer paso es conseguir que el robot pueda identificar la información gráfica. Es decir, implementar un sistema de visión computarizada que permita al sistema robótico identificar y detectar distancias, estructuras y procese los cambios que ocurren a tiempo real.

La startup Danesa “3Dintegrated” [3], estaba desarrollado un sistema de visión computarizado basado luz estructurada y escáner láser para capturar la información geométrica y ser capaz de interpretarlos por medio de complejos algoritmos formados por técnicas de inteligencia artificial y métodos de triangulación combinados.

CONCLUSIONES DE ESTE TRABAJO

Actualmente estamos viviendo una transición de la cirugía convencional hacia la cirugía asistida por robot, la cual presenta varias ventajas, principalmente para el cirujano ya que mejora la visión al mismo tiempo que aumenta la precisión y el control de los movimientos, sin embargo también supone una ventaja para el paciente, el cual necesita menor cantidad de anestesia y pierde menos sangre durante la intervención, reduciendo así el tiempo y las posibles complicaciones del postoperatorio.

Con el tiempo los quirófanos se están convirtiendo en laboratorios de ingeniería, no solo por el instrumental cada vez más complejo tecnológicamente, si no por el uso de más y mejores equipos de monitorización de pacientes, modelos tridimensionales con los que realizar ensayos antes de la operación y simuladores de entrenamiento todo en una misma sala.

El futuro de la cirugía y más concretamente el campo de la endoscopia presenta varios papeles para la ingeniería, en el campo de la geomática, la implementación de técnicas de control geométrico, captura y procesado de modelos 3D está revolucionando la cirugía tal y como la conocemos. Estas técnicas aplicadas permiten realizar intervenciones que hace unos años eran impensables debido a su complejidad.

Por último, el diseño de nuevos sistemas de visión laser, que permitan la identificación y detección automáticas de estructuras anatómicas son el primer paso hacia la cirugía autónoma, donde el papel del cirujano será revisar y comprobar que todo funciona de forma correcta.

CONCLUSIONES SOBRE LOS OBJETIVOS DE ESTE TFT

Consideramos que se han cumplido todos los objetivos que se propusieron. Sin embargo, creemos que se pueden realizar mejoras a este documento con el fin de convertirlo en un pequeño libro que explique en mayor profundidad los conceptos teóricos de algunas de las ciencias que forman parte de la geomática, así como ampliar la información de las actuales vías de investigación centrándose en realizar alguna de estas nosotros mismos, por ejemplo realizar un modelado 3D de un órgano con escáner tridimensional y técnicas fotogramétricas y comparar los resultados entre ambas técnicas.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 ADHAMI L., COSTE-MANIÈRE E. & BOISSONNAT J..(2000). “Planning and Simulation of Robotically Assisted Minimale Invasive Surgery”. En 3th international conference of Medical Image Computing & Computer-Assisted Intervention , vol. 1935, Springer
- 2 ALEXANDER SALINAS S.(2009). Modelado, simulación en 3D y control de un robot para cirugía laparoscópica. Tesis. Popayán: Universidad del Cauca
- 3 ANDERSEN M. (2017). “Surgical Automation Gets More Precise Vision, Thanks to Multiple Data Sources” en RoboticsBusinessReview. <<https://www.roboticsbusinessreview.com/health-medical/surgical-automation-gets-precise-vision-data/>>
- 4 ATATUR RAHMAN MD.. (2013) “Augmented and Virtual Reality based approaches in Minimally Invasive Surgery training”. Conference: Informatics, Electronics & Vision (ICIEV). En ResearchGate <https://www.researchgate.net/figure/Demonstration-of-ProMIS-simulator_fig1_261244404>
- 5 BALAGUER PUIG M. (2018). Fotogrametría de Objeto Cercano. Conceptos básicos. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- 6 BONI L. et all. (2019). Enhanced fluorescence guided laparoscopic surgery 2nd Edition. Germany: Endo: Press GmbH
- 7 GLOSARIO GRÁFICO: <http://www.glosariografico.com/espectro_electromagnetico>
- 8 IMPRIMALIA3D.(2019). Modelos impresos en 3D para cirugía laparoscópica hepática en <<http://imprimalia3d.com/noticias/2018/10/23/0010419/modelos-impresos-3d-cirurgia-laparoscopica-hepatica>>
- 9 INTUITIVE SURGICAL. (2016). “In Vivo Accessories for Minimally Invasive Robotic Surgery”, en U. S. Patent 7125403B2
- 10 KOSTAKIS I. D. et al. (2019). “Comparison Between Robotic and Laparoscopic or Open Anastomoses: A Systematic Review and Meta-Analysis.” En *Robotic surgery (Auckland)*, 6, 27–40. <<https://doi.org/10.2147/RSRR.S186768>>
- 11 LERMA GARCÍA J.L. & BIOSCA TARONGERS J.M.. (2008). Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre, Preparado por el proyecto Herramientas de aprendizaje para el levantamiento tridimensional avanzado en la conciencia de riesgos (3DRiskMapping) Versión 5.

- 12 LUHMANN T. et al. (2013). Close-range photogrammetry and 3D imaging (2nd ed.). Berlin/Boston: Walter de Gruyter
- 13 MC GUERRA IBARRA. J.C.(2019).”Determinación de centros de masa en franjas de luz estructurada” en Revista de la Alta Tecnología y Sociedad 26,Vol. 11, No. 1, 2019,ISSN 1940-2171
- 14 OLYMPUS: Manual sobre el método de endoscopia (2017)
- 15 PADÍN DEVESA J., BUCHÓN MORAGUES F. y SÁNCHEZ JIMÉNEZ D.. (2015). “Fotogrametría de objeto cercano para la rehabilitación ornamental de edificios” en 2nd Art, Science, City International Conference ASC2015 Valencia: Universitat Politècnica de València
- 16 ROSADO QUIRÓS E. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil. Cáceres: Universidad de Extremadura
- 17 SONY. España: <<https://www.sony.es>>
- 18 SURGICALL: <<https://surgicall.es>>
- 19 TARGARONA , E.M., FELIU, X. y SALVADOR, J.L. (2010). Cirugía Endoscópica 2ª Edición. Madrid: Arán Ediciones, S. L.
- 20 T. ORTMAIER. (2002). “Motion Compensation in Minimally Invasive Robotic Surgery”. Phd. Tesis. Alemania: Universidad de Manchen
- 21 TVASURG: Toronto Video Atlas of Surgery. <<https://pie.med.utoronto.ca/TVASurg/surgical-photogrammetry/>>
- 22 TVASURG: Toronto Video Atlas of Surgery. <<https://pie.med.utoronto.ca/TVASurg/ami-tech-talk-photogrammetry-for-surgery/>>
- 23 UME: Instalación y Mantenimiento. <<https://www.umesl.com>>
- 24 VAN KOUGHNETT JA. et al (2009). “Are there advantages to robotic-assisted surgery over laparoscopy from the surgeon's perspective?” en Epub 2009 Jun 3. PMID: 27638219.
- 25 VILLAVICENCIO MAVRICH H.. (2006). “Cirugía laparoscópica avanzada robótica Da Vinci: origen, aplicación clínica actual en Urología y su comparación con la cirugía abierta y laparoscópica” en Actas Urol Esp vol.30 no.1

ANEXO 1: Mapas

Los mapas de intensidad para mostrar la evolución de la disponibilidad de servicios con cirugía asistida por el sistema Da Vinci en España fueron diseñados por el autor de este trabajo, se adjuntan los GeoPDFs al archivo de la memoria.

En caso de no obtenerlos, solicitarlos al correo electrónico que se muestra en el encabezado de este documento.