

**INSTITUTO DE SERVICIOS DE SALUD PÚBLICA DEL ESTADO DE BAJA  
CALIFORNIA**

**DIRECCION DE ENSEÑANZA Y VINCULACION**

**HOSPITAL GENERAL DE TIJUANA**

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION**



**“APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN CIRUGÍA”**

**Trabajo Terminal para obtener el Diploma de Especialidad en  
CIRUGÍA GENERAL**

**P R E S E N T A:**

**DRA. ALEJANDRA GALLARDO LEYVA**

**Mexicali, B.C. febrero de 2022**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA FACULTAD DE MEDICINA  
MEXICALI COORDINACIÓN DE POSGRADO Y EDUCACIÓN**



**Título de la Investigación**

**“APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN CIRUGÍA”**

**P R E S E N T A:**

**DRA. ALEJANDRA GALLARDO LEYVA**

**Mexicali, B.C. febrero de 2022**



**INSTITUTO DE SERVICIOS DE SALUD PÚBLICA DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA.**

**DIRECCIÓN DE ENSEÑANZA Y VINCULACIÓN HOSPITAL GENERAL DE TIJUANA DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN**



**Título de la Investigación**

**“APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN CIRUGÍA”**

**Trabajo Terminal para obtener el Diploma de Especialidad en CIRUGÍA GENERAL**

**P R E S E N T A:**

**DRA. ALEJANDRA GALLARDO LEYVA**

**DIRECTOR DE MONOGRAFÍA Y ASESORES:**

**Dr. Omar Alberto Paipilla Monroy  
Cirujano General**

**Mexicali, B.C. febrero de 2022**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE MEDICINA MEXICALI COORDINACIÓN DE POSGRADO Y**  
**EDUCACIÓN**



**Título de la Investigación**  
**“APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN CIRUGÍA”**

**Trabajo Terminal para obtener el Diploma de Especialidad en**  
**CIRUGÍA GENERAL**

**P R E S E N T A:**

**DRA. ALEJANDRA GALLARDO LEYVA**

**DIRECTOR DE MONOGRAFÍA Y ASESORES:**

**Dr. Omar Alberto Paipilla Monroy**  
**Cirujano General**

**Mexicali, B.C. febrero de 2022**



**DR. CLEMENTE HUMBERTO ZUNIGA GIL**  
DIRECTOR DEL HOSPITAL GENERAL DE TIJUANA



**DR. FRANCISCO ALEJANDRO GUTIÉRREZ MANJARREZ**  
JEFE DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION



**DR. GUSTAVO FÉLIX SALAZAR OTAOLA**  
JEFE DEL SERVICIO DE CIRUGIA GENERAL



**DR. OMAR ALBERTO PAIPILLA MONROY**  
PROFESOR DEL CURSO DE CIRUGIA GENERAL



**DR. OMAR ALBERTO PAIPILLA MONROY**  
ASESOR DE LA INVESTIGACION



**ALEJANDRA GALLARDO LEYVA**  
SUSTENTANTE DEL EXAMEN PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN  
CIRUGIA GENERAL

## ÍNDICE

Introducción.....	3
Desarrollo.....	3
I. Generalidades.....	3
Antecedentes.....	3
Clasificación basada en su aplicación en medicina.....	4
Técnicas de inteligencia artificial.....	5
1. Aprendizaje automático.....	5
a. Aprendizaje supervisado.....	5
b. Aprendizaje no supervisado.....	5
2. Aprendizaje por refuerzo.....	6
3. Redes neuronales.....	6
4. Redes neuronales profundas/convolucionales.....	6
a. Visión por computadora.....	6
b. Procesamiento natural del lenguaje.....	6
II. Inteligencia artificial aplicada en la medicina.....	6
1. Visión por computadora.....	7
2. Procesamiento natural del lenguaje.....	7
III. Aplicaciones de la inteligencia artificial en cirugía.....	8
1. Educación quirúrgica.....	8
a. Análisis de videos.....	9
b. Curva de aprendizaje guiada por IA.....	9
2. Periodo perioperatorio.....	9
a. Calculadoras de riesgo quirúrgico.....	9
b. Predicción de complejidad quirúrgica.....	10
a. Sistemas robóticos con redes neuronales.....	10
b. Macrodatos (Big data).....	10
3. Utilidad en cirugía de mínima invasión.....	11
a. Análisis de video intraoperatorio.....	11
- Colecistectomía laparoscópica.....	12
- Cirugía colorrectal.....	19
Conclusión.....	21
Referencias bibliográficas.....	23

# INTRODUCCIÓN

Pareciera relativamente reciente la llegada de la inteligencia artificial (IA) en el mundo moderno, sin embargo se sabe que sus inicios ocurrieron desde hace más de 60 años, siendo el año 1956 cuando se introdujo como la ciencia y la ingeniería para fabricar máquinas inteligentes, definición atribuida a John McCarthy (Gherheş & Obrad, 2018). Son múltiples las áreas en donde interviene esta tecnología, en nuestro medio está diseñada principalmente para mejorar la calidad de vida del ser humano. Es utilizada en el área de oncología mediante programas de soporte en el abordaje diagnóstico y detección de cáncer; en cardiología es útil para la interpretación de electrocardiogramas e integración de información de las historias clínicas digitales para la detección temprana de falla cardiaca reduciendo la mortalidad; En anestesiología prediciendo la hipotensión durante un procedimiento quirúrgico. Más recientemente, se ha utilizado en los sistemas de control de infecciones para la monitorización en tiempo real de COVID-19 con reconocimiento de imágenes para minimizar el riesgo de contagio intrahospitalario de esta infección.

Algunos ejemplos de su utilidad propiamente en cirugía son predicción de la duración de procedimientos quirúrgicos, reconocimiento de movimientos del cirujano, realizar suturas, registro y rastreo automático de cirugías, especialmente en el área de ortopedia. Uno de los objetivos principales de la aplicación de la Inteligencia artificial en medicina, y sobre todo en cirugía, es disminuir la incidencia de errores (Birkhoff et al., 2021).

## DESARROLLO

### I. GENERALIDADES

#### **Antecedentes**

El término inteligencia artificial (del término Artificial Intelligence, a partir de este momento cuando se hable Inteligencia Artificial se trata de este término en inglés) es acuñado por John McCarthy quien lo describe como ciencia e ingeniería de la elaboración de máquinas inteligentes en el año de 1956 (Gherheş & Obrad, 2018), considerando el paso de seis décadas así como los avances teóricos y tecnológicos en esta área del conocimiento de manera más reciente se define con base en diversos autores como el uso de computadoras y tecnología para simular un comportamiento inteligente y un pensamiento crítico comparable al del ser humano (Amisha et al., 2019), la capacidad de una computadora para realizar acciones análogas a las realizadas por un cerebro humano (Azhar et al., 2020) y el estudio

de algoritmos que otorgan a las máquinas la capacidad de razonar y realizar funciones cognitivas como resolución de problemas, reconocimiento de objetos y palabras y toma de decisiones (Scerri & Grech, 2020).

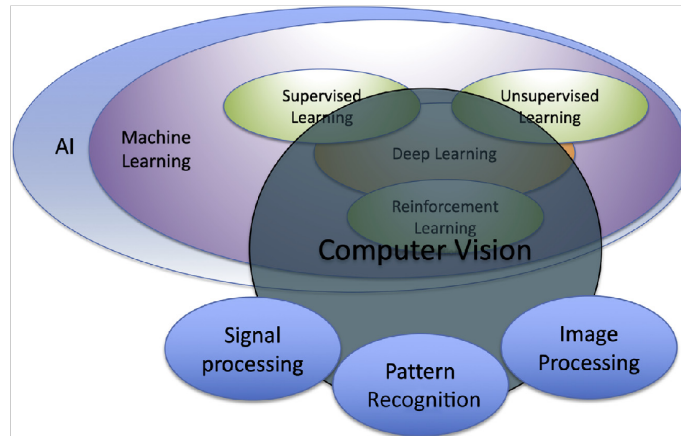
Partiendo de este punto y aplicándola en las áreas de la salud, podemos decir que el desarrollo de la inteligencia artificial ha evolucionado hasta obtener la capacidad de reconocer y razonar problemas clínicos, tomar decisiones y en algunos casos hasta ejecutar soluciones.

### **Clasificación**

Con base en el esquema propuesto por Hashimoto et al. (2020) se puede entender de manera gráfica que el concepto de Inteligencia Artificial engloba a diversos términos que podrían ser confundidos como sinónimos, pero realmente forman parte de la Inteligencia Artificial en general o incluso son otras áreas del conocimiento las cuales pueden llegar a tener puntos en común.

En la figura 1. se observa a la IA y dentro de su primer nivel de campo de profundización, se tiene el Aprendizaje de Máquinas o Aprendizaje Automático (Del inglés Machine Learning) el cual consiste en modelos y algoritmos estadísticos que permiten a las máquinas aprender y realizar tareas, estos algoritmos se caracterizan por no tener instrucciones precisas ya que los modelos analizan e infieren información por los patrones encontrados en los datos (Hashimoto et al., 2020)

Este tipo de IA se divide a su vez en Aprendizaje Supervisado y no Supervisado, el cual concentra sus diferencias en el tipo de algoritmo que ejecuta para predecir una salida predeterminada y por último en Aprendizaje por Refuerzo el cuál se basa en el condicionamiento operante que a través de una serie de eventos permite guiar el comportamiento de la IA por medio de castigos y recompensas al realizar una serie de actividades por prueba y error (Hashimoto et al., 2020).



**Figura 1. Esquema gráfico que representa los diferentes elementos que componen una IA así como la relación con otros campos de la ciencia.**

Enfocado en el área de la salud, propiamente en medicina, podemos clasificar la inteligencia artificial en dos grandes grupos de aplicación: virtual y física. Algunos ejemplos de aplicaciones virtuales son aquellos programas que recopilan información para formular historias clínicas, el diagnóstico asistido por computadora, como en el caso del cáncer de mama mediante el análisis mamográfico y programas en línea que imparten terapia cognitivo-conductual en pacientes con ansiedad social. La parte física está representada por la cirugía robótica, el ejemplo más claro son los robots diseñados para realizar procedimientos quirúrgicos guiados por el ser humano, especialmente en las áreas de urología y ginecología (Amisha et al., 2019).

Aplicaciones de la inteligencia artificial en áreas de la salud	
Desarrollo de fármacos	Consulta digital
Diagnóstico de enfermedades	Tratamientos médicos y quirúrgicos
Análisis de planes de salud	Manejo de expedientes clínicos
Monitorización de enfermedades	Tratamientos personalizados

(Amisha et al., 2019).

### Técnicas de inteligencia artificial

El campo de la inteligencia artificial es amplio, engloba subcampos o también llamadas técnicas, que a su vez se dividen en múltiples áreas y debido a que sus aplicaciones en el campo de la medicina se encuentran en aumento, es importante que los médicos conozcan en qué consisten y cómo funcionan estas tecnologías, con el objetivo de darles un adecuado uso y mejorar así la atención del paciente de acuerdo a Navarrete y Hashimoto (2020) se puede dividir en los siguientes elementos:

1. Aprendizaje automático: Las máquinas aprenden y realizan sus tareas a través de algoritmos y modelos estadísticos que son guiados por humanos pero sin requerir una programación precisa de las tareas a realizar. Los tipos más comunes son los siguientes:
  - Aprendizaje supervisado: la máquina entrena un algoritmo para predecir un objetivo ya preestablecido, por ejemplo localizar un objeto en una fotografía.
  - Aprendizaje no supervisado: la máquina extrae relaciones de un conjunto de datos e identifica patrones o estructuras, por ejemplo identificar pacientes de alto riesgo para cirugía.
2. Aprendizaje por refuerzo: Aprendizaje a base de prueba y error con recompensas y castigos, por ejemplo: el aprendizaje de un juego de mesa. Es difícil su aplicación en medicina ya que implica realizar modelos complejos con muchas características que simulan un problema médico.
3. Redes neuronales artificiales (Artificial Neural Network): el aprendizaje de estas redes puede ser supervisado, no supervisado o por refuerzo, existen varios modelos pero el más común es aquel en el cual las redes estudian y procesan datos en capas de unidades computacionales, similar al sistema nervioso central y sus redes neuronales. La primera capa recibe la información y la envía a la siguiente capa donde se analiza y la envía a la capa final, obteniendo los mejores resultados posibles de las características evaluadas. Debido a la gran capacidad de resolución de problemas con múltiples variables, es un adecuado modelo para resolución de problemas médicos como realizar diagnósticos.
4. Redes neuronales profundas/convolucionales (Deep/Convolutional Neural Networks): son redes neuronales con más de 3 capas que permiten resolución de problemas con patrones más complejos, son capaces de analizar audios, imágenes y videos. Este tipo de aprendizaje actualmente tiene un gran impacto en el campo de la cirugía. (Hashimoto et al., 2020).
  - Visión por computadora: Es un tipo de aprendizaje profundo que se encarga de la comprensión de imágenes y videos a través de la identificación de objetos dentro de esas imágenes y videos, su objetivo principal es automatizar las tareas de una manera similar a la que realiza el sistema visual humano. Sus características se abordarán más adelante.
  - Procesamiento natural del lenguaje: Tipo de aprendizaje profundo que se basa en la comprensión del lenguaje humano, analizando el significado textual y emocional de acuerdo con el tono.

## II. INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA EN LA MEDICINA

La inteligencia artificial enfocada en la salud aún se encuentra en desarrollo, sin embargo actualmente otorga a la práctica médica algunos beneficios como reducir el trabajo manual, disminuye el tiempo de atención primaria y aumenta la productividad y eficacia. Hay dos áreas de la inteligencia artificial que tienen relevancia en el área médica, sobre todo en cirugía, una es la visión por computadora y la segunda el procesamiento natural del lenguaje.

### Visión por computadora

Esta tecnología es principalmente útil en el área quirúrgica en procedimientos mínimamente invasivos, como lo son la cirugía laparoscópica y robótica (Kitaguchi et al., 2021). También es bastante útil en radiología y patología, sin embargo existe un auge en el campo quirúrgico a medida que aumentan los recursos visuales, como son los videos laparoscópicos que registran los cirujanos con motivo de enseñanza e investigación. (Hashimoto et al., 2020).

### Procesamiento natural del lenguaje

Se basa en la comprensión del lenguaje humano, no solo identificando el significado textual de las palabras, sino evaluando las notas para predecir el estado anímico y de salud del paciente. (Hashimoto et al., 2020). Este tipo de inteligencia artificial es uno de los más utilizados en la actualidad, no solo en el área de la salud sino en nuestra vida diaria, el ejemplo más claro es cuando se realizan órdenes habladas a los teléfonos móviles para obtener una respuesta (hacer una llamada, buscar una dirección, reproducir una canción, etc.). Se han diseñado aplicaciones con algoritmos basados en este tipo de inteligencia artificial que realizan diagnósticos, de esta forma ayudan a hacer un triage pudiendo re direccionarlos a un centro de atención primaria o de urgencias, según sea el caso (Birkmeyer, 2020).

Sistemas de inteligencia artificial y su utilidad en medicina	
DXplain	Identifica diagnósticos probables a partir de un grupo de síntomas.
Germwatcher	Detecta e investiga infecciones adquiridas en hospitales.
Babylon	Consulta medica en línea.
Da Vinci	Cirugía robótica.

AiCure	Monitoreo del cumplimiento terapéutico a través de cámara web.
--------	--

(Amisha et al., 2019).

### III. APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN CIRUGÍA

De acuerdo con Witkowski y Ward (2020), las características de las condiciones de la cirugía tanto quirófano como en los momentos perioperatorios permiten aprovechar las diversas necesidades de cada momento para complementar con el uso apropiado de alguno de los tipos de IA, ellos proponen el siguiente esquema (Figura #2) con el cual plantean algunos ejemplos de aplicaciones en cirugía.

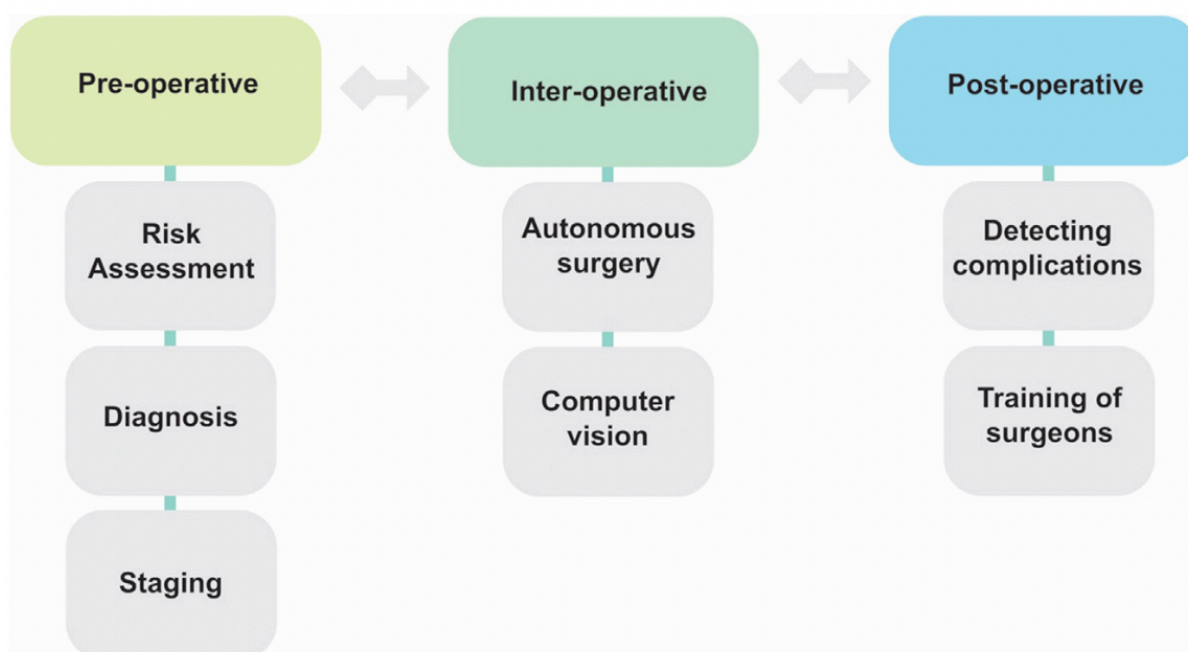


Figura #2. Representación gráfica de posibles aplicaciones de IA en las diversas etapas del cuidado quirúrgico.

#### Educación quirúrgica

La enseñanza habitual del cirujano en formación tiene varias desventajas: la evaluación depende del tutor, la retroalimentación del tutor es subjetiva y en la mayoría de los casos no es posible determinar el número de procedimientos quirúrgicos a realizar para adquirir la habilidad quirúrgica necesaria. Diferentes modelos de inteligencia artificial pueden

ser utilizados para la educación y el entrenamiento de cirujanos, como lo son la realidad virtual, cirugía robótica y análisis de videos, entre otros.

### Análisis de videos

Los evaluadores se encargan del análisis tradicional de videos en el postoperatorio, una ventaja a favor de la inteligencia artificial es que le es posible identificar pasos durante la cirugía que permitan evaluar habilidades del cirujano en entrenamiento (Azhar et al., 2020).

Los softwares de los modelos de inteligencia artificial pueden evaluar las habilidades de los cirujanos, realizan rastreos de los movimientos y pueden ser capaces de diferenciar entre un cirujano experto y novato, esto a través de la identificación de la longitud de los trazos, presencia de movimientos súbitos y promedios de movimientos (Ganni et al., 2020). Las bases de datos Cholec120, Bypass170 y HeiCo se encuentran disponibles para creación de algoritmos con enfoque al entrenamiento quirúrgico.

### Curva de aprendizaje guiada por Inteligencia Artificial

Se han diseñado modelos que predicen la curva de aprendizaje mediante el análisis del entrenamiento básico laparoscópico en simuladores, logrando identificar acciones quirúrgicas en 94% con precisión del 91% y logrando evaluar la habilidad quirúrgica en 78% con una precisión del 77%, según reporte de estudios. Con estos modelos es posible evaluar las características de los movimientos del cirujano durante un procedimiento como son la suavidad, velocidad, profundidad, longitud y curvatura, además de proporcionar retroalimentación táctil enviando una alerta cuando el cirujano ejerce suficiente fuerza para romper una sutura o nudo. Estos avances dan pie a crear programas que establezcan un número de procedimientos para adquirir las habilidades quirúrgicas necesarias y de igual forma realizar una evaluación más objetiva de las destrezas del alumno (Azhar et al., 2020).

## **Periodo perioperatorio**

### Calculadoras de riesgo quirúrgico

Se sabe que todo procedimiento quirúrgico puede presentar complicaciones, de hasta el 20% de los casos, para ello se toman medidas preoperatorias para identificar pacientes no candidatos y para predecir el riesgo de complicaciones postquirúrgicas, por lo que se han creado calculadoras que predicen el riesgo de eventos cardiacos, morbilidad y mortalidad.

Con el avance de la tecnología se ha ido mejorando el desarrollo de estas calculadoras utilizando herramientas como el historial clínico electrónico, en donde no únicamente se toman los datos predictivos, sino que se permite a estos modelos continuar con su aprendizaje y realizar ajustes de acuerdo con la retroalimentación del médico. Un ejemplo claro de estos avances es la calculadora POTTER, esta se desarrolló utilizando información analizada por modelos previos, se diseñó como aplicación y ahora es posible determinar el riesgo de cirugía de urgencia a través de teléfonos móviles con resultados superiores en predicción de mortalidad y morbilidad, comparado con los puntajes obtenidos con métodos de cálculo desarrollados por la Sociedad Americana de Anestesiólogos (American Society of Anesthesiologist, ASA) (Navarrete-Welton & Hashimoto, 2020; Witkowski & Ward, 2020)

### Predicción de complejidad quirúrgica

Un elemento muy importante de todo procedimiento quirúrgico es su planeación, en esta fase no siempre es posible identificar aquellos factores o características involucrados en la complejidad de una cirugía. Investigaciones realizadas con clasificadores de reconocimiento de patrones han logrado identificar los factores de riesgo predictivos de complejidad intraoperatoria. Un ejemplo de un estudio realizado en un hospital de Alemania, utilizando los clasificadores LDC y SVM, y partir de datos preoperatorios de pacientes, reporto que la Inflamación, engrosamiento de la pared vesicular, sexo masculino e Índice de masa corporal elevado son los 4 predictores mas importantes para una colecistectomía laparoscópica compleja, con una tasa de error de clasificación inferior al 17%. Si bien este modelo de inteligencia artificial no tiene una participación directa en las salas de quirófano, puede ser un parteaguas que influya en las decisiones quirúrgicas.

Otro problema médico de interés quirúrgico es la identificación de la vía biliar, sobre todo en pacientes con sospecha de cirugía compleja a modo de evitar interrupciones de la vía biliar. Ante esta situación se han desarrollado algoritmos que permiten la segmentación de la vesícula biliar en Tomografía computarizada, obteniendo resultados precisos en menor tiempo, comparado con la segmentación manual realizada por el médico radiólogo (Chen et al., 2021).

### Sistemas robóticos con redes neuronales

En este tipo de sistemas se entrena un robot para que aprenda una secuencia de pasos proporcionada por un cirujano, por ejemplo una sutura. El robot que fue previamente programado para reproducir estos pasos en un tiempo predeterminado, aprende los pasos y los reproduce un número preestablecido de veces hasta lograr reducir el tiempo con el que fue programado inicialmente (Birkhoff et al., 2021).

## Macrodatos (Big Data)

No existe aún una definición de Macrodatos, o Big Data, sin embargo se utiliza este término a cualquier tipo y cantidad de datos que no es posible procesarlos con los métodos tradicionales de análisis de datos, requiriendo nuevas técnicas y tecnologías (Klein et al., 2013). Es un área aún en desarrollo, se planea que en el área quirúrgica se obtenga información por sensores, video y dispositivos digitales, para realizar análisis evidenciando patrones, tendencias y asociaciones del comportamiento del personal quirúrgico (Birkhoff et al., 2021).

## **Utilidad en Cirugía de mínima invasión**

### Análisis de video intraoperatorio

Este modelo de inteligencia artificial se basa en Video por computadora, un tipo de aprendizaje profundo y su utilidad en el análisis de videos en el periodo intraoperatorio es relativamente reciente, ya que hace apenas 10 años es posible reconocer imágenes precisas.

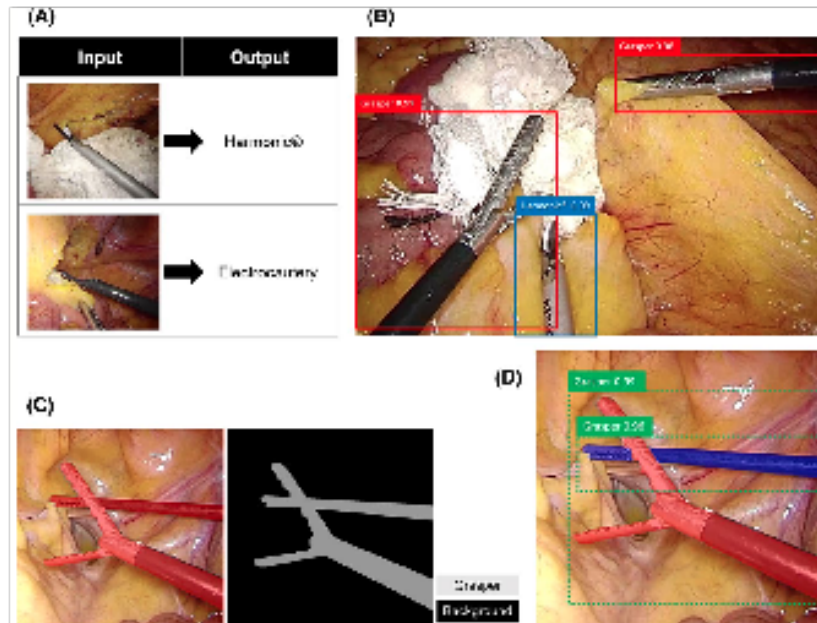
Permite a las computadoras interactuar en tiempo real a través de señales visuales, guiando a los cirujanos pero principalmente advirtiéndoles antes de que se presenten complicaciones. Con estas señales visuales es posible realizar un análisis de las capacidades del cirujano y predecir su tasa de complicaciones.

Permite reconocer la fase quirúrgica en una cirugía laparoscópica, los trabajos de investigación reportan buena precisión (Colecistectomía 86.7%, gastrectomía en manga 85.6%, sigmoidectomía 91.9%) generando resultados positivos como son mejoría en el flujo de trabajo, en la logística del quirófano y predicción del tiempo postoperatorio restante a partir del video intraoperatorio. Se estima que las siguientes fases en el desarrollo de este modelo permite brindar apoyo en decisiones intraoperatorias, como confirmar cuando una parte crítica de la cirugía se ha alcanzado exitosamente (Hashimoto et al., 2020).

Las principales funciones de la Visión por computadora se pueden dividir en las siguientes categorías :

1. Clasificación de imágenes: el modelo es entrenado con datos ejemplo ya clasificados, utiliza esta información creando algoritmos de aprendizaje que revisan los ejemplos y adquiere el conocimiento de la apariencia visual de cada clase. Ejemplo de aplicación: identificación automática de pasos quirúrgicos en videos.
2. Detección de objetos: el modelo genera cuadros delimitadores y etiquetas para cada objeto dentro de las imágenes. Ejemplo de aplicación: detección de pólipos durante colonoscopia, detección de instrumentos quirúrgicos.

- Segmentación semántica: División de imágenes completas en grupos de píxeles con etiqueta y clasificación, análisis de los píxeles para generar predicciones basadas en ellos. Ejemplo de aplicación: Evitar lesiones de la vía biliar en colecistectomía laparoscópica, evitar lesión ureteral en escisión mesorrectal total transanal (TaTME).
- Segmentación de instancias: Reconocimiento de objetos superpuestos con la misma etiqueta, incluyendo sus límites, diferencias y relaciones entre sí. Ejemplo de aplicación: reconocer instrumentos quirúrgicos superpuestos en una cirugía (Kitaguchi et al., 2021).



Visión por computadora. A) Clasificación de imágenes, B) Detección de objetos, C) Segmentación semántica, D) Segmentación de instancias  
 Fuente: Kitaguchi, D., Takeshita, N., Hasegawa, H., & Ito, M. (2021). Artificial intelligence-based computer vision in surgery: Recent advances and future perspectives. *Annals of Gastroenterological Surgery*, September, 1–8.

## Colecistectomía laparoscópica

La colecistectomía es uno de los procedimientos quirúrgicos electivos con mayor prevalencia a nivel mundial, tan solo en Estados Unidos se realizan 750,000 procedimientos al año. La modalidad laparoscópica es el tratamiento quirúrgico de elección para colelitiasis y colecistitis y desde su llegada el índice de complicaciones se ha reducido. Las complicaciones de la colecistectomía laparoscópica pueden ser múltiples y variadas en severidad, desde infecciones de cualquier grado reportando incidencias de 0.07% a 16.2% (Alexander et al., 2018), hasta la complicación más temida que la disrupción de la vía biliar (DVB), reportándose incidencia de DVB del 0.2% a 1.1%.

Los errores técnicos son la principal causa de lesiones prevenibles en pacientes quirúrgicos pero también toman gran importancia los errores diagnósticos y de juicio del cirujano que lo puedan orillar a tomar malas decisiones durante la cirugía (Kitaguchi et al., 2021). Otros estudios reportan que en la mayoría de los casos de DVB en una colecistectomía

laparoscópica se debe a ilusiones de percepción visual con una prevalencia del 97% de los casos, más que por falla en la habilidad quirúrgica del cirujano, la cual se encuentra presente solo en el 3% de los casos (Stewart & Way, 2007).

La inteligencia artificial comienza a tomar importancia con estos aspectos mencionados, actualmente se encuentran en investigación los sistemas basados en aprendizaje profundo por redes neuronales profundas, como apoyo transquirúrgico para la identificación y clasificación de imágenes, por ejemplo la identificación de referencias anatómicas.

La ocurrencia se incrementa por ilusiones de percepción por parte del cirujano, como pueden ser que se piense que se esta manipulando el conducto cístico y en realidad se esta manipulando el conducto biliar común, para evitar estas complicaciones se propone alcanzar una Visión Crítica de Seguridad (CVS) (Mascagni et al., 2020).

En la cirugía laparoscópica el alcanzar una CVS es promovido para evitar la DVB, pero a pesar de estas medidas la prevalencia de DVB se mantiene estable, posiblemente por una aplicación inconsistente o por un pobre entendimiento del CVS así como reportes poco confiables y la ocurrencia iatrogénica se a triplicado desde la introducción de la cirugía laparoscópica (Mascagni et al., 2020).

En estudios de cirugía laparoscópica se han reportado un logro de CVS hasta en el 100% de los casos, pero un posterior análisis con IA de fotografías y videos encontraron que solamente se logró en el 64% de los casos y 12% cumpliendo con solamente uno o ninguno de los criterios para CVS, mientras que en los pacientes complicados se alcanza solamente en el 10.8% (J. Lee et al., 2022; Mascagni et al., 2020).

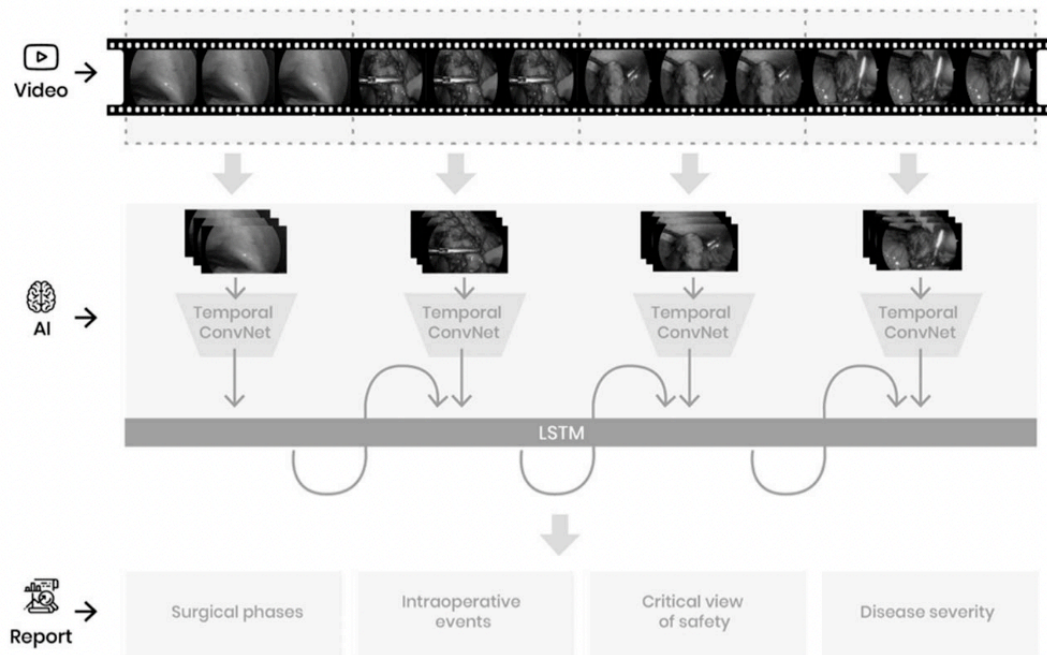
Los tres criterios para alcanzar la CVS en una visión clara del triangulo de Calot, minimizar el tejido graso o fibroso circundante y una vista de 360 grados del conducto cístico (J. Lee et al., 2022).

La medida propuesta para mejorar el alcanzar el CVS es la captura de fotografía y video anterior y posterior del triangulo hepatocístico y evalúa la imagen en una escala de 6 puntos, documentando un CVS en 70% de los casos de fotografía y 96.5% en el de video. Después de evaluar los videos se encontró que los 60 segundos previos al clipaje y corte de las estructuras císticas eran los más informativos.

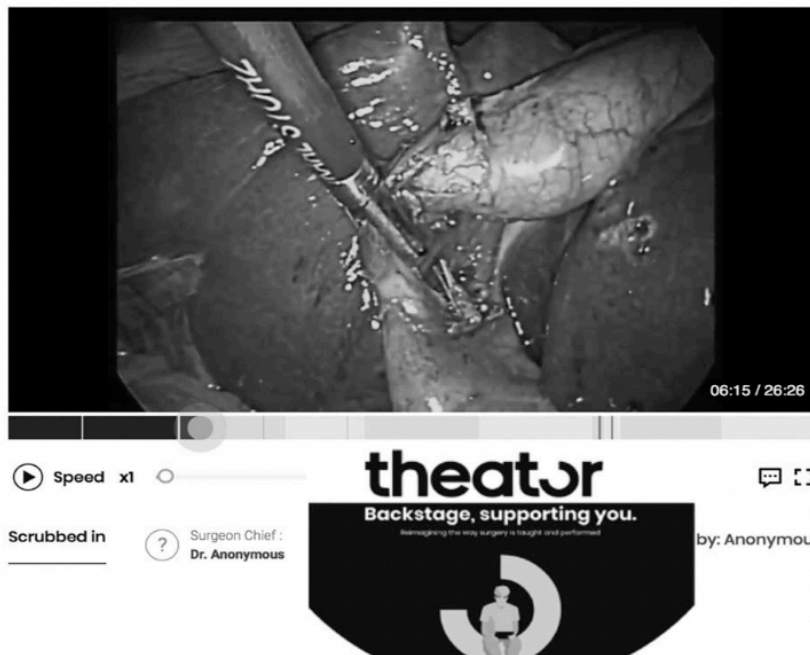
El uso de sistemas de aprendizaje profundo con capacidad de captura de video, puede permitir genera una base de datos robusta para el entrenamiento de sistemas de IA que permitan determinar por este medio cuando se alcanza el CVS en el quirófano (Mascagni et al., 2020).

Si la IA es lo suficientemente precisa y eficaz para identificar el CVS podría ser usado para apoyar en la toma de decisiones, determinar si la anatomía es favorable o no

favorable para la operación y durante la documentación digital del procedimiento (Korndorffer et al., 2020)



## Laparoscopic cholecystectomy ☆ Add to favorites



### Steps and events

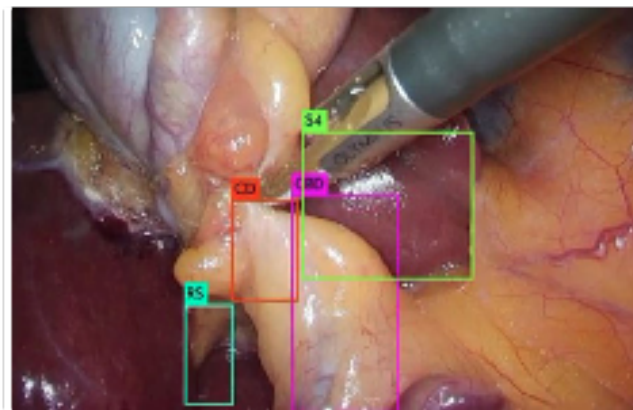
- Dissection and skeletonization
- Dissection and skeletonization
- Division of cystic structures
- Safety view **1**
- Division of cystic structures
- Gallbladder bile leak
- Gallbladder separation
- Gallbladder separation
- Gallbladder packaging
- Gallbladder packaging
- Trocar insertion
- Final inspection and extraction
- Final inspection and extraction

Descripción gráfica del sistema de Inteligencia Artificial de Convulación profunda para procesamiento de segmentos de videos procesados secuencialmente para la obtención de los reportes de CVS y su posterior análisis por expertos en sistema theator. Fuente: Korndorffer, J. R., Hawn, M. T., Spain, D. A., Knowlton, L. M., Azagury, D. E., Nassar, A. K., Lau, J. N., Arnow, K. D., Trickey, A. W., & Pugh, C. M. (2020). Situating Artificial Intelligence in Surgery. *Annals of Surgery*, 272(3), 523–528. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004207>

Se encontró con el sistema de Convulación Profunda y el análisis de expertos por medio del sistema Theator un acuerdo en el 93% de la selección por parte de la IA de los

videos en los que se alcanzó los tres criterios para CVS y 80 a 95% en la estratificación de la severidad por caso (Korndorffer et al., 2020).

Se realizó un estudio utilizando un algoritmo llamado YOLOv3 para crear un sistema de indicación de puntos de referencia. Se trata de un sistema que logra identificar 4 puntos de referencia anatómica en colecistectomía laparoscópica. Los videos obtenidos se evaluaron cualitativamente por cirujanos expertos obteniendo resultados positivos y cuantitativamente en valores de precisión, los puntos de referencia son los siguientes: el conducto cístico (0.074), conducto biliar común (0.320), el borde inferior del segmento medial del lóbulo izquierdo (0.314) y el Surco de Rouviere (0.101).



Cuadros delimitadores para cada punto de referencia como una imagen de salida de YOLOv3. CD: conducto cístico; CBD: conducto biliar común; S4: borde inferior del segmento medial izquierdo; RS: surco de Rouviere Fuente: Tokuyasu, T., Iwashita, Y., Matsunobu, Y., Kamiyama, T., Ishikake, M., Sakaguchi, S., Ebe, K., Tada, K., Endo, Y., Etoh, T., Nakashima, M., & Inomata, M. (2021). Development of an artificial intelligence system using deep learning to indicate anatomical landmarks during laparoscopic cholecystectomy. *Surgical Endoscopy*, 35(4), 1651–1658.

Estos avances tecnológicos permitirían reducir la carga de toma de decisiones transquirúrgicas por los cirujanos y los videos obtenidos se pueden disponer para crear algoritmos para el aprendizaje automático, que permite el desarrollo de otros sistemas (Kitaguchi et al., 2021).

Los modelos entrenados con Aprendizaje Profundo pueden identificar zonas de disección seguras (Go) y peligrosas (No-Go) en anatomía de hígado, vesícula y triangulo hepatocístico durante la cirugía laparoscópica, y esta tecnología eventualmente podría ser utilizada para proveer en tiempo real una guía y minimizar los riesgos de eventos adversos (Madani et al., 2020)

Los aportes de la visión por computadora a la colecistectomía laparoscópica podemos resumirlos en lo siguiente:

- Incremento de la seguridad de la cirugía al evaluar la severidad de la enfermedad con predicciones de eventos adversos (Birkmeyer, 2020).
- Identificación de las fases de colecistectomía laparoscópica mediante reconocimiento de movimientos de instrumental.

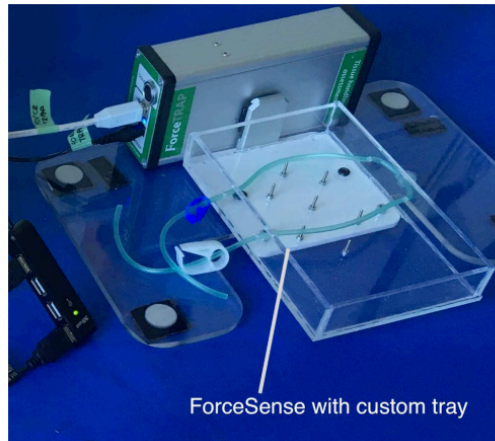
- Detección/segmentación anatómica, evaluación de la visión crítica de seguridad, guía de zonas seguras.

Fases quirúrgicas intraoperatorias de colecistectomía laparoscópica		
Fase		Inicio/Fin
I	Establecer acceso (EA)	Inicio: primer trocar entra a cavidad. Fin: última aguja de trocar extraída
II	Lisis de adherencias	Inicio: preparación para lisis por gancho eléctrico Fin: adhesión completada
III	Movilizar el triángulo hepatocístico	Inicio: gancho eléctrico conecta tejido del triángulo hepatocístico Final: gancho desaparece a la vista o inicio de disección
IV	Diseccionar la vesícula biliar del lecho hepático (DGB)	Inicio: disección del mesenterio de la vesícula biliar Final: vesícula biliar saliendo del lecho hepático
V	Limpiar la región operatoria	Inicio: limpieza de la región con gasa, cauterio o aspirador Fin: aclaramiento y desaparición del instrumento a la vista
VI	Extraer la vesícula biliar	Comienzo: fórceps que sujetan la vesícula biliar Final: vesícula biliar desapareciendo a la vista

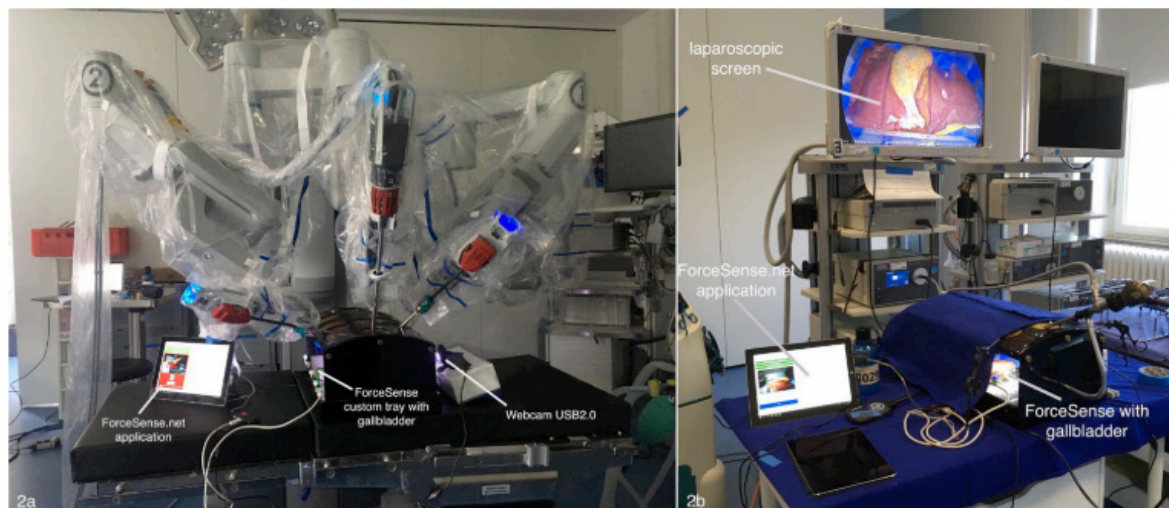
(Cheng et al., 2021)

La cirugía asistida por robot tiene el potencial de reducir las cargas de trabajo y el tiempo de la curva de aprendizaje comparado con la cirugía laparoscópica convencional, en un estudio de 40 estudiantes que fueron evaluados en su desempeño con la escala OSATS la cual incluye tiempos de operación, complicaciones (daño a tejido hepático, perforaciones de vesícula, daño a vasos), fuerza aplicada al tejido, se encontró que los cirujanos novatos realizaban su primera colecistectomía con mejor desempeño y menores complicaciones en la cirugía asistida por robot comparado con la cirugía laparoscopia convencional pero sin diferencias en los tiempos de operación (Willuth et al., 2022).

El sistema de IA y medición de fuerza ForceSense cuenta con un sistema de retroalimentación de fuerza permitió reconocer que la curva de aprendizaje de los estudiantes que inician su entrenamiento con este sistema tienen mejor desempeño comparado con los que inician con un entrenamiento en cirugía laparoscópica convencional. El estudio sugiere que el incorporar el entrenamiento de cirugía robótica permitirá reducir los tiempos de entrenamiento pero no superar los resultados obtenidos por la cirugía convencional (Willuth et al., 2022).



Sistema ForceSense para medición de aplicación de fuerza, es utilizado montando un hígado con vesícula en la placa. Fuente: Willuth, E., Hardon, S. F., Lang, F., Haney, C. M., Felinska, E. A., Kowalewski, K. F., Müller-Stich, B. P., Horeman, T., & Nickel, F. (2022). Robotic-assisted cholecystectomy is superior to laparoscopic cholecystectomy in the initial training for surgical novices in an ex vivo porcine model: a randomized crossover study. *Surgical Endoscopy*, 36(2), 1064–1079. <https://doi.org/10.1007/s00464-021-08373-6>



2ª. Sistema de entrenamiento de cirugía laparoscópica asistida por robot y medición de fuerza ForceSense 2b. Sistema convencional de cirugía laparoscópica. Willuth, E., Hardon, S. F., Lang, F., Haney, C. M., Felinska, E. A., Kowalewski, K. F., Müller-Stich, B. P., Horeman, T., & Nickel, F. (2022). Robotic-assisted cholecystectomy is superior to laparoscopic cholecystectomy in the initial training for surgical novices in an ex vivo porcine model: a randomized crossover study. *Surgical Endoscopy*, 36(2), 1064–1079. <https://doi.org/10.1007/s00464-021-08373-6>

El uso de cirugía robótica asistida en cirugías laparoscópicas con da Vinci Single-Site surgical system permite evitar las consecuencias de DVB como el derrame biliar, esto se observó en un estudio realizado en 343 pacientes, de los cuales 220 procedimientos se realizaron de manera asistida con una incidencia de derrame biliar en el 5.6% de los casos comparado con las 123 cirugías laparoscópicas convencionales que obtuvieron una incidencia de 23.40% de derrame biliar. Evitar esto podría prevenir reincidencias tumorales ya que el derrame en pacientes con malignidad oculta en vesícula es posible, así como riesgo de infecciones se duplica y es posible presentar abscesos intraabdominales y adhesiones de omento (S. M. Lee & Lim, 2021).

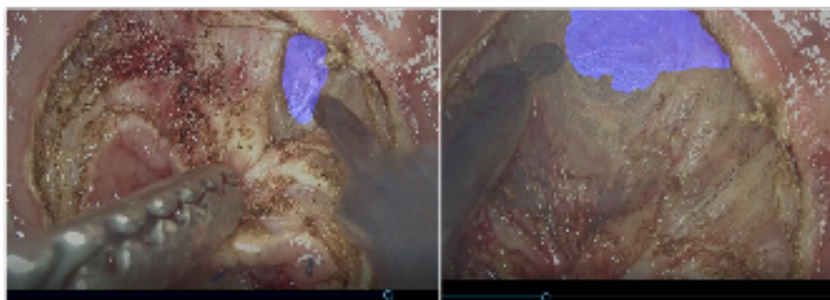


Sistema da Vinci SP, especializado para cirugías laparoscópicas de un solo puerto, con un brazo que contiene 3 diferentes instrumentos y una cámara. Fuente: Kang, Y. H., Kang, J. S., Cho, Y. S., Kim, H. S., Lee, M., Han, Y., Sohn, H. J., Kim, H., Kwon, W., Jang, J., & Lee, H. K. (2022). A retrospective multicentre study on the evaluation of perioperative outcomes of single-port robotic cholecystectomy comparing the Xi and SP versions of the da Vinci robotic surgical system. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 18(1). <https://doi.org/10.1002/rcs.2345>

La adopción de sistemas robotizados, con capacidad de automatización y de aplicación de diversas opciones de inteligencia artificial también presenta desventajas, los sistemas entrenados con inteligencia artificial realizan una serie de cálculos complejos que determinan la viabilidad del método quirúrgico para el paciente y acoplado a un sistema da Vinci de un solo puerto, si se presenta una situación como un derrame biliar por perforación de vesícula o hemorragias de difícil control la eliminación de un puerto para asistencia por otro cirujano puede complicar el procedimiento (Cruz et al., 2021).

### **Cirugía colorrectal**

La primera cirugía transanal de escisión mesorrectal (TaTME) se realizó en el año 2010 y desde entonces ha sido una estrategia terapéutica clave para los tumores rectales bajos y del tercio medio. Actualmente presenta una tasa de morbilidad del 0.6%, tasa de falla anastomótica 15.7% y una incidencia de lesión uretral del 0.8%-11% (Sylla et al., 2021) Uno de los principales objetivos de la intervención de la inteligencia artificial en cirugía transanal es evitar los eventos adversos, se han desarrollado sistemas de segmentación de próstata en tiempo real para disminuir la incidencia de lesión uretral (Kitaguchi et al., 2021).



Imágenes endoscópicas de segmentación semántica de próstata durante una excisión mesorrectal transanal.

Fuente: Kitaguchi, D., Takeshita, N., Hasegawa, H., & Ito, M. (2021). Artificial intelligence-based computer vision in surgery: Recent advances and future perspectives. *Annals of Gastroenterological Surgery*, September, 1–8.

En un estudio realizado por Kitaguchi (2021) se logró el reconocimiento de las fases quirúrgicas y acciones en videos de cirugía colorrectal laparoscópica a través de una base de datos de 300 videos (LapSig300) con una precisión general de 81%, además de realizar un cálculo de la frecuencia de transición de fase y la relación D/E, que es un cálculo que refleja la eficiencia del cirujano. Es la base para permitir que la revisión de videos resulte más eficiente, para generar programas de entrenamiento y para evaluar la habilidad quirúrgica del cirujano.

Definiciones de las fases quirúrgicas y acciones involucradas en cirugía colorrectal		
Fase	Definición	Descripción
1 (P1)	Excisión mesorrectal total (lado derecho/posterior)	Inicio: abordaje del mesorrecto en el lado derecho o posterior para la disección
2 (P2)	Movilización medial del colon (antes de la sección de la AMI)	Inicio: abordaje del mesocolon desde el lado medial antes de la sección AMI
3 (P3)	Sección de la AMI	Inicio: las pinzas de disección aparecen en la pantalla después de la esqueletización del vaso Final: sección del vaso
4 (P4)	Movilización medial del colon (después de la sección AMI)	Inicio: Abordaje al mesocolon desde el lado medial después de la sección AMI
5 (P5)	Movilización lateral del colon	Inicio: Abordaje al mesocolon desde el lado lateral
6 (P6)	Excisión mesorrectal total (lado izquierdo)	Inicio: Abordaje del mesorrecto por el lado izquierdo para disección
7 (P7)	Disección del mesorrecto	Inicio: Acercamiento al mesorrecto para la sección hacia la línea de sección rectal Finalización: Aparece en la pantalla una pinza intestinal o una engrapadora
8 (P8)	Transección de recto y anastomosis	Inicio: en la pantalla aparece pinza o engrapadora intestinal Fin: Retiro de grapadora circular
9 (P9)	Transección de VMI/ACD	Inicio: Aparece el pedículo vascular en la pantalla y abordaje del pedículo para la disección Final: Transección del pedículo vascular
<p>Disección (D) D es el tiempo dedicado a la disección y se define como las acciones que llevaron a la separación del tejido, como el corte o la disección roma.</p> <p>Exposición (E) E son los tiempos dedicados a la exposición y se definen como acciones con el propósito de definir el plano del tejido, como cambiar la dirección de tracción o agarrar una pieza diferente de tejido.</p> <p>Otro (O) Otras acciones (p. ej., limpieza de la cámara, sección del colon y otras acciones extracorpóreas).</p>		

AMI: Arteria mesentérica inferior, VMI: Vena mesentérica inferior, ACD: Arteria cólica derecha (Kitaguchi et al., 2021).

## CONCLUSIONES

Una de las mayores ventajas de la inteligencia artificial, y que no ha sido mencionada a lo largo de este trabajo, es que nos ofrece predicciones objetivas y más precisas del estado de salud de nuestros pacientes, nos abre las puertas a nuevas formas de percibir nuestro actuar en la medicina y lo veremos reflejado principalmente en una mejoría significativa de la relación médico-paciente.

Con el uso de calculadoras predictores de riesgo quirúrgico podremos aminorar, y si es posible eliminar, la ansiedad preoperatoria de nuestros pacientes al otorgarles información más amplia y con mayor exactitud sobre los riesgos que implica un procedimiento quirúrgico, evitando malas interpretaciones y como consecuencia menos demandas legales hacia el cirujano y el equipo de trabajo.

Estos diferentes modelos se combinan creando sistemas más complejos que den solución a problemas médicos también más complejos, y aunado a la robótica, permitirán que en un futuro la telemedicina esté más al alcance de nuestras manos y más lejos de nuestros quirófanos. Permitirá que los cirujanos más experimentados puedan contribuir de una manera más fácil y rápida a la educación continua, compartiendo sus experiencias a través de recursos audiovisuales de procedimientos de mínima invasión, que serán analizados por modelos de inteligencia artificial para poder unificar criterios de técnicas quirúrgicas además de identificar errores técnicos del cirujano.

Los cirujanos jóvenes que han completado su entrenamiento quirúrgico podrán continuar con su educación a través del estudio de material procesado por programas inteligentes, como es en el caso de la cirugía bariátrica actualmente, en donde ya es posible identificar los pasos quirúrgicos en una manga gástrica. De esa forma es posible acceder al conocimiento de una forma más rápida sin la necesidad de invertir tiempo valioso, está claro que el ser humano puede realizar este análisis por sí mismo pero es poco práctico cuando se pretende revisar una gran cantidad de vídeos de diferentes bases de datos.

Y finalmente, en la etapa de formación del cirujano, se tendrá más accesibilidad a programas reforzados con otros modelos de inteligencia artificial (por ejemplo, realidad virtual) que permitan simular un procedimiento quirúrgico y de esta forma reducir la curva de aprendizaje en pacientes reales con morbilidad elevada.

Son múltiples las ventajas del uso de la inteligencia artificial aplicada en cirugía, aunque es un campo poco explorado porque se encuentra aún en crecimiento y sea

desconocido en gran medida por el profesional médico, se espera que para el 2030 sea común su aplicación en la práctica diaria. Es posible que desarrollen conocimientos quirúrgicos universales, incluso que sean capaces de crear nuevos conocimientos y que desarrollen conciencia quirúrgica colectiva a través del análisis de registros preoperatorios, intraoperatorios y postoperatorios de pacientes, todo esto con la finalidad de brindar apoyo de cualquier índole quirúrgica y en cualquier momento, convirtiéndolos indispensables en las salas de quirófano. Aún no se sabe con certeza los problemas éticos resultantes a los que nos veremos enfrentados, pero sin duda alguna es un inevitable gran avance del ser humano que revolucionara muy pronto la practica medica y quirúrgica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, H. C., Bartlett, A. S., Wells, C. I., Hannam, J. A., Moore, M. R., Poole, G. H., & Merry, A. F. (2018). Reporting of complications after laparoscopic cholecystectomy: a systematic review. *HPB*, 20(9), 786–794. <https://doi.org/10.1016/j.hpb.2018.03.004>
- Amisha, Malik, P., Pathania, M., & Rathaur, V. (2019). Overview of artificial intelligence in medicine. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 8(7), 2328. [https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc\\_440\\_19](https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_440_19)
- Azhar, H., Waseem, T., & Ashraf, H. (2020). Artificial Intelligence in Surgical Education and Training: A Systematic Literature Review. *Archives of Surgical Research*, 1(3), 39–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.48111/2020.03.09>
- Birkhoff, D. C., van Dalen, A. S. H. M., & Schijven, M. P. (2021). A Review on the Current Applications of Artificial Intelligence in the Operating Room. *Surgical Innovation*, 28(5), 611–619. <https://doi.org/10.1177/1553350621996961>
- Birkmeyer, J. D. (2020). The Future of Artificial Intelligence in Surgical Care. *Annals of Surgery*, 272(3), 529. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004186>
- Chen, Y., Zeng, Q., Feng, B., & Xiong, H. (2021). Artificial Intelligence-Based Inferior Vena Cava Images under Dezocine Anesthesia in Detection of Bile Duct Injury after Laparoscopic Cholecystectomy. *Scientific Programming*, 2021, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2021/4661206>
- Cheng, K., You, J., Wu, S., Chen, Z., Zhou, Z., Guan, J., Peng, B., & Wang, X. (2021). Artificial intelligence-based automated laparoscopic cholecystectomy surgical phase recognition and analysis. *Surgical Endoscopy*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s00464-021-08619-3>
- Cruz, C. J., Huynh, F., Kang, I., Lee, W. J., & Kang, C. M. (2021). Initial experiences of robotic SP cholecystectomy: a comparative analysis with robotic Si single-site cholecystectomy. *Annals of Surgical Treatment and Research*, 100(1), 1. <https://doi.org/10.4174/astr.2021.100.1.1>
- Ganni, S., Botden, S. M. B. I., Chmarra, M., Li, M., Goossens, R. H. M., & Jakimowicz, J. J. (2020). Validation of Motion Tracking Software for Evaluation of Surgical Performance in Laparoscopic Cholecystectomy. *Journal of Medical Systems*, 44(3), 56. <https://doi.org/10.1007/s10916-020-1525-9>
- Gherheş, V., & Obrad, C. (2018). Technical and Humanities Students' Perspectives on the Development and Sustainability of Artificial Intelligence (AI). *Sustainability*, 10(9), 3066. <https://doi.org/10.3390/su10093066>
- Hashimoto, D. A., Ward, T. M., & Meireles, O. R. (2020). The Role of Artificial Intelligence in Surgery. *Advances in Surgery*, 54, 89–101. <https://doi.org/10.1016/j.yasu.2020.05.010>
- Kitaguchi, D., Takeshita, N., Hasegawa, H., & Ito, M. (2021). Artificial intelligence-based computer vision in surgery: Recent advances and future perspectives. *Annals of Gastroenterological Surgery*, September, 1–8. <https://doi.org/10.1002/ags3.12513>
- Klein, D., Tran-Gia, P., & Hartmann, M. (2013). Big Data. *Informatik-Spektrum*, 36(3), 319–323. <https://doi.org/10.1007/s00287-013-0702-3>
- Korndorffer, J. R., Hawn, M. T., Spain, D. A., Knowlton, L. M., Azagury, D. E., Nassar, A. K., Lau, J. N., Arnow, K. D., Trickey, A. W., & Pugh, C. M. (2020). Situating Artificial Intelligence in Surgery. *Annals of Surgery*, 272(3), 523–528. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004207>
- Lee, J., Kim, K. H., Lee, T., Ahn, J., & Kim, S. J. (2022). Robotic surgery enables safe and comfortable single-incision cholecystectomy: A comparison of robotic and laparoscopic approaches for single-incision surgery. *Journal of Minimal Access Surgery*, 18(1), 65–71. <https://doi.org/10.4103/jmas.JMAS-274-19>
- Lee, S. M., & Lim, J. H. (2021). Comparison of outcomes of single incision robotic cholecystectomy and single incision laparoscopic cholecystectomy. *Annals of Hepato-Biliary-Pancreatic Surgery*, 25(1), 78–83. <https://doi.org/10.14701/ahbps.2021.25.1.78>
- Madani, A., Namazi, B., Altieri, M. S., Hashimoto, D. A., Rivera, A. M., Pucher, P. H., Navarrete-Welton, A., Sankaranarayanan, G., Brunt, L. M., Okrainec, A., & Alseidi, A.

- (2020). Artificial Intelligence for Intraoperative Guidance. *Annals of Surgery*.  
<https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004594>
- Mascagni, P., Fiorillo, C., Urade, T., Emre, T., Yu, T., Wakabayashi, T., Felli, E., Perretta, S., Swanstrom, L., Mutter, D., Marescaux, J., Pessaux, P., Costamagna, G., Padoy, N., & Dallemagne, B. (2020). Formalizing video documentation of the Critical View of Safety in laparoscopic cholecystectomy: a step towards artificial intelligence assistance to improve surgical safety. *Surgical Endoscopy*, *34*(6), 2709–2714.  
<https://doi.org/10.1007/s00464-019-07149-3>
- Navarrete-Welton, A. J., & Hashimoto, D. A. (2020). Current applications of artificial intelligence for intraoperative decision support in surgery. *Frontiers of Medicine*, *14*(4), 369–381. <https://doi.org/10.1007/s11684-020-0784-7>
- Scerri, M., & Grech, V. (2020). Artificial intelligence in medicine. *Early Human Development*, *145*, 105017. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2020.105017>
- Stewart, L., & Way, L. W. (2007). The Prevention of Laparoscopic Bile Duct Injuries: An Analysis of 300 Cases of from a Human Factors and Cognitive Psychology Perspective. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *51*(11), 617–620. <https://doi.org/10.1177/154193120705101103>
- Sylla, P., Knol, J. J., D'Andrea, A. P., Perez, R. O., Atallah, S. B., Penna, M., Hompes, R., Wolthuis, A., Rouanet, P., & Fingerhut, A. (2021). Urethral Injury and Other Urologic Injuries During Transanal Total Mesorectal Excision. *Annals of Surgery*, *274*(2), e115–e125. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003597>
- Willuth, E., Hardon, S. F., Lang, F., Haney, C. M., Felinska, E. A., Kowalewski, K. F., Müller-Stich, B. P., Horeman, T., & Nickel, F. (2022). Robotic-assisted cholecystectomy is superior to laparoscopic cholecystectomy in the initial training for surgical novices in an ex vivo porcine model: a randomized crossover study. *Surgical Endoscopy*, *36*(2), 1064–1079. <https://doi.org/10.1007/s00464-021-08373-6>
- Witkowski, E., & Ward, T. (2020). Artificial intelligence assisted surgery. In *Artificial Intelligence in Healthcare* (pp. 179–202). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818438-7.00008-3>