



Revista Argentina de Cirugía

FUNDADA EN 1960 | *FOUNDED IN 1960*



PREMIO APTA - FUNDACIÓN RIZZUTO, AÑO 1981
Indización | *Indexing*
SCOPUS;
Núcleo Básico de Revistas Científicas
Argentina. Res. Nº 0772/17. Caicyt - Conicet;
SciELO; DOAJ; Catálogo Latindex Nivel 2;
Malena
Base de Datos | *Database*
LILACS (BIREME-OPS); CONDOR (S.I.I.C.);
Base de Datos Periódica, UNAM
Participante de los Requisitos Uniformes,
Comité Internacional de Editores
de Revistas Médicas
Participante del Proyecto EXTRAMED,
Organización Mundial de la Salud (OMS)
ISSN 0048 - 7600
ISSN on-line 2250-639X
Registro de la Propiedad Intelectual 687.145



Usted es libre de:

Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Bajo las siguientes condiciones **Reconocimiento**:

Debe reconocer adecuadamente la autoría, proporcionar un enlace a la licencia. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de una manera que sugiera que tiene el apoyo del licenciador o lo recibe por el uso que hace.

No Comercial: No puede utilizar el material para una finalidad comercial.

Sin Obra Derivada: Si remezcla, transforma o crea a partir del material, no puede difundir el material modificado.

You are free to: Share, copy and redistribute the material in any medium or format under the following conditions: Acknowledgment.- You must properly acknowledge the authorship and provide a link to the license. You can do this in any reasonable way, but not in a way that suggests that you have the licensor's endorsement or receive it for your use.

Non-Commercial.- You cannot use the material for a commercial purpose. Without Derivative Work.- If you remix, transform or create from the material, you cannot disseminate the modified material

Publicación Oficial de la
Asociación Argentina de Cirugía
*Official scientific publication of the
Asociación Argentina de Cirugía*
M. T. de Alvear 2415 - (1122).
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel. | Phone: 4822-6489 / 4822-2905-3649
E-mail: revista@aac.org.ar

CONSEJO EDITORIAL | *EDITORIAL BOARD*

Director | *Director*
Mario L. Iovaldi
(Hospital Alemán, Argentina)

Editor jefe | *Editor-in-chief*
Manuel R. Montesinos
(Hospital de Clínicas José de San Martín, Argentina)

Editores ejecutivos | *Executive editors*
Rodrigo A. Gasque
(Clínica Universitaria Reina Fabiola, Argentina)

Pablo E. Huespe
(Hospital Italiano de Buenos Aires, Argentina)

Leonardo Landi
(Hospital José María Cullen de Santa Fe, Argentina)

Gabriel Navarta
(Hospital Dr. Guillermo Rawson de San Juan, Argentina)

María E. Peña
(Sanatorio Güemes, Argentina)

Lucas N. Pina
(Hospital de Clínicas José de San Martín, Argentina)

Victoria Santa María
(Hospital Municipal de Oncología Marie Curie, Argentina)

Coordinadora editorial | *Editorial coordinator*
Natalia Ingani
(Asociación Argentina de Cirugía, Argentina)

Correctora de estilo | *Style corrector*
María Isabel Siracusa
(Asociación Argentina de Cirugía, Argentina)

Traductora | *Translator*
Rita Tepper
(Asociación Argentina de Cirugía, Argentina)

EDITORES INTERNACIONALES | *INTERNATIONAL EDITORS*

Mariana Berho
(Cleveland Clinic, EE.UU.)

Markus W. Büchler
(Botton-Champalimaud Pancreatic Cancer Centre, Portugal)

Guillermo M. Carriquiry
(Universidad de La República, Uruguay)

Antonio Caycedo-Marulanda
(Queen's University, Canadá)

Claudio Cernea
(Hospital Das Clínicas, Brasil)

Daniel I. Chu
(University of Alabama at Birmingham, EE.UU.)

Raúl Cutait
(Hospital Sirio-Libanés, Brasil)

José de Vinatea de Cárdenas
(Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú)

Gonzalo Estapé Carriquiry
(Centro Latinoamericano de Economía Humana, Uruguay)

Steve Eubanks
(Florida Hospital, EE.UU.)

Owen Korn Bruzzone
(Hospital Clínico Universidad de Chile, Chile)

Luiz P. Kowalsky
(Hospital A. C. Camargo, Brasil)

Claudio Navarrete García
(Clínica Santa María, Chile)

Gregg Nelson
(University of Calgary, Canadá)

Marco Patti
(Universidad de Virginia, EE.UU.)

Carlos A. Pellegrini
(University of Washington, EE.UU.)

Elina Quiroga
(University of Washington, EE.UU.)

Eduardo M. Targarona Soler
(Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, España)

Paula Ugalde
(Institut Universitaire de Cardiologie et de Pneumologie de Québec, Canadá)

Steven D. Wexner
(Cleveland Clinic, EE.UU.)

Nathan Zundel
(Florida International University, EE.UU.)

EDITORES HONORARIOS | *HONORARY EDITORS*

H. Pablo Curutchet
Vicente Gutiérrez Maxwell

Enrique A. Sívori

AUTORIDADES ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CIRUGÍA | *BOARD OF DIRECTORS, ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CIRUGÍA*

Presidente | *President*
Pablo E. Sonzini Astudillo
Vicepresidente 1° | *1st. Vicepresident*
Oscar M. Mazza
Vicepresidente 2° | *2nd. Vicepresident*
Martín A. Duhalde
Secretario general | *General Secretary*
Pablo Cingolani
Secretaría de actas | *Recording Secretary*
Julieta Paleari
Tesorero | *Treasurer*
Alejandro D. Moreira Grecco
Protesorera | *Pro-treasurer*
Victoria Ardiles

Vocales titulares | *Ordinary Members*
Rosa A. Pace
Gisela S. Aquije Matta
Mauricio J. Linzey
Paula D. Perurena

Vocales suplentes | *Deputy Members*
Guillermina P. Eidenson
Noemí D. Hanania
Carina M. Chwat
Elena A. Fernández
Pablo G. Bolea
Arturo E. Cartagena
Director general | *General Director*
José L. Tortosa

Relato Oficial de las Jornadas de Otoño 2024
Asociación Argentina de Cirugía

Inteligencia Artificial en Cirugía

Autores

Jorge E. Ruiz Todone

Ciro R. Hernández

Marcelo Franco

Viviana Navarro

Guillermo Vallejos Pereira

Índice

5	Índice
7	Agradecimientos
7	Objetivos
7	Introducción y fundamentos
11	Datos históricos
13	Aplicación de la IA en cirugía
16	Sinergia de la IA y otros campos
16	Principios de la tecnología AI y AR en cirugía
17	Chatbots
18	Cirugía laparoscópica asistida por robot (Da Vinci®)
18	Ventajas y desventajas de la cirugía asistida por Inteligencia Artificial y robot
19	Conclusión
20	Referencias bibliográficas

Agradecimientos

Agradezco a todos los integrantes de la Comisión de la Asociación de Cirugía de Corrientes, de la cual formo parte, por haberme dado la posibilidad de realizar este Relato y al equipo de investigación que hemos formado a partir de ahora.

Responsabilidad que asumí luego de una reunión de nuestra Asociación, donde fueron propuestos varios temas y fue elegido Inteligencia Artificial en Cirugía.

Que nuestro proyecto sea el representante del Servicio de Cirugía del Hospital Escuela, José de San Martín y de la Universidad Nacional del Nordeste es un orgullo muy grande para todos.

Es un incentivo para los que integramos este grupo, ya que nos proponemos realizar y continuar las tareas de investigación sobre Inteligencia Artificial en Medicina, Historia Clínica Inteligente e Inteligencia Artificial en Cirugía, contactándonos con el mundo.

Desde el comienzo fuimos buscando e incorporando conocimientos científicos, a raíz de lo cual empezamos a interiorizarnos cada vez más acerca de qué era la Inteligencia Artificial primero, después qué había acerca de Inteligencia Artificial en Medicina, para luego desarrollar nuestra concepción de Inteligencia Artificial en Cirugía, proyecto que pusimos en marcha y continúa su camino hacia un futuro de desarrollo innovador y qué se puede realizar para disminuir riesgos durante una cirugía.

Para llevar a cabo este Relato hemos analizado la población de pacientes atendidos e intervenidos quirúrgicamente en el Hospital de Campaña Escuela Hogar, Hospital Escuela José de San Martín, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) y Centro privado de nuestra ciudad.

Se hizo un relevamiento en un corto plazo, que fue analizado desde el período febrero 2023 a marzo 2024; se trabajó en forma multidisciplinaria, aportando experiencias cada uno en su área, desde la realización de un QR para Interrogatorio Inteligente y un *software* propio para nuestra Inteligencia Artificial en Cirugía.

Fue una tarea muy demandante ya que el tema Inteligencia Artificial (IA) es muy amplio y más aplicado en medicina y a su vez en cirugía. Fuimos recibidos por la Dra. Viviana Navarro, Secretaria de Ciencia y Tecnología de la Facultad de Medicina de la UNNEy por el Rector de la Universidad Nacional del Nordeste, Dr. Omar Larroza.

Desde ya muchísimas gracias por abrirnos las puertas para informarles acerca de este proyecto puesto en marcha.

Esta tarea se hizo más distendida al contar con participantes como el Dr. Marcelo Franco, quien durante la pandemia se esforzó y estudió para ser analista en sistemas en forma virtual, "cuando uno quiere se puede"; el Dr. Ciro Hernández con quien buscábamos artículos y operamos; la Dra. Viviana Navarro, que pasó a ser directora de nuestro proyecto, y nuevamente el Dr. Omar Larroza, quien puso a disposición diferentes áreas

de la Universidad Nacional del Nordeste para continuar con el desarrollo de este Relato. Un relato o cualquier actividad dentro de la medicina y más en la actividad quirúrgica no va a ser posible sin el apoyo de la familia: agradezco, pues, a mi esposa Sofía, a mis hijos Paula, Juan Esteban y Mariano, ya todos universitarios.

Dedicado a mi papá que ya no está y a mi mamá, orgulloso de ella.

Objetivos

- Actualizar los conceptos básicos de inteligencia artificial (IA) y su aplicación en cirugía.
- Incentivar al desarrollo de la IA para ser incorporada en cirugía.
- Motivar a los cirujanos en un futuro muy cercano a utilizar la IA ya desarrollada en los procedimientos quirúrgicos.

Introducción y fundamentos

La IA puede definirse como el estudio de algoritmos que dan a las máquinas la capacidad de razonar y realizar funciones cognitivas, como la resolución de problemas, el reconocimiento de objetos, palabras y la toma de decisiones¹.

Es la disciplina que permite a las máquinas imitar y aprender habilidades humanas como el razonamiento y el aprendizaje, con el fin de tomar decisiones y resolver problemas de manera autónoma.

Hoy en día, la IA es un concepto muy amplio, sin una definición consensuada; generalmente se refiere a programas informáticos que pueden aprender de los datos y realizar determinadas tareas específicas. Si bien el concepto no es nuevo, la IA ha conocido avances espectaculares en los últimos años, incluso en el campo de las imágenes médicas.

En términos generales, implica el uso de una computadora para modelar comportamiento inteligente con mínima intervención humana. Por lo común se acepta que la IA ha comenzado con la invención de los robots. Este término deriva de la palabra checa *robota*, que significa 'máquinas utilizadas para trabajo forzoso'; por eso es que, en este campo, la herencia duradera de Leonardo Da Vinci, sus bocetos, fueron fuente de inspiración para una generación de investigadores en robótica².

En 2019, la Comisión Mundial de Ética del Conocimiento Científico y Tecnología (COMEST) de la UNESCO definió la inteligencia artificial como un campo que implica máquinas capaces de imitar determinadas funcionalidades de la inteligencia humana, incluidas características como la percepción, el aprendizaje, el razonamiento, la resolución de problemas, la interacción lingüística e incluso la producción de trabajos creativos.

Las raíces de la IA se encuentran en múltiples campos, entre ellos la robótica, la filosofía, la psicología

gía, la lingüística y la estadística. Los principales avances en informática, como las mejoras en la velocidad y la potencia de procesamiento, han funcionado como catalizador para permitir las tecnologías básicas necesarias para la llegada de la IA. La creciente popularidad de la IA en muchas áreas diferentes ha atraído inversiones de capital de riesgo de hasta 5 mil millones de dólares solo en 2016^{1,2}.

En el área de la cirugía, la IA tiene obviamente un amplio espectro de aplicaciones, por ejemplo, entrenamiento, simulación, toma de decisiones intraoperatorias, predicción de eventos y resultados; asistencia a los cirujanos en la planificación preoperatoria de operaciones importantes y reintervenciones; posoperatorio, progreso operatorio, manejo de complicaciones; revalidación, acreditación y recertificación de cirujanos³.

A medida que se amplían las oportunidades para que la IA aumente la atención quirúrgica, el aumento consiguiente de la literatura publicada ha generado un entusiasmo sustancial y una gran preocupación con respecto a la seguridad y eficacia de la IA en la cirugía. Para los cirujanos y científicos de datos quirúrgicos, es cada vez más importante comprender el estado del arte, reconocer las brechas de conocimiento y tecnología y evaluar críticamente la avalancha de literatura consecuente.

Gran parte de la atención actual sobre la IA se ha centrado en siete subcampos centrales que se presentan a continuación: 1) *Data y Big data*, 2) *Procesamiento del lenguaje natural*, 3) *Redes neuronales*, 4) *Machine learning*, 5) *Deep learning*, 6) *Visión por computadora*, sus limitaciones e implicancias futuras para los cirujanos.

Big data

Este término hace referencia a la suma de grandes cantidades de datos, que salen de diversas fuentes; por ejemplo, hoy en día, todas las transacciones bancarias quedan registradas en las bases de datos de un organismo regulador que se encarga de controlar; otro ejemplo sería algo ya conocido en el ámbito de la salud, el registro de los pacientes en una planilla hoy en día una forma arcaica, ya que todo en la actualidad se registra o almacena en planillas de computadoras, lo cual es la base para la IA como lo son las tablas relacionales.

En la era de la tecnología de la información, el análisis de *Big data* (grandes datos) está entrando en las ciencias biomédicas⁴.

Los fenómenos de *Big data* están penetrando prácticamente en todos los sectores. En gran escala fueron aplicados por primera vez por las empresas de energía de la información (IBM, Google, Facebook, Amazon). Se han desarrollado algoritmos que utilizan redes neuronales y técnicas de aprendizaje automático que son empleados por estas grandes empresas orientadas a industria tecnológica para predecir el comportamiento de las personas y aprovechar esta

información para el *marketing* orientado a las personas. También las compañías de seguros de salud y los gobiernos tienen un gran interés en los desarrollos de *Big data*, entrando en las ciencias de la vida⁵.) *Big data* se compone de:

- **Volumen.** Los *Big data* son de gran tamaño y contienen muchos puntos/registros de datos de múltiples temas. Estos incluyen estudios de diagnóstico clínicos, radiológicos, patológicos), datos (cirugía, terapia sistémica, radioterapia y sus combinaciones), datos de respuesta y complicaciones.

- **Velocidad.** Tienen dos modalidades de velocidad: se crean a una velocidad cada vez más alta y deben calcularse/digerirse relativamente rápido. Por ejemplo: en todo el mundo, la incidencia del cáncer está aumentando, mientras que los pacientes viven más tiempo. Junto con los avances tecnológicos y los dispositivos de seguimiento, será necesario procesar un número cada vez mayor de datos al mismo tiempo.

- **Variedad.** Los *Big data* comprenden una enorme variedad de tipos de datos. Esta variedad tiene importantes oportunidades (muchos tipos diferentes de datos enriquecen su calidad y utilidad) y desafíos relacionados con su heterogeneidad que justifican la estandarización (informes sinópticos).

- **Variabilidad.** Es crucial darse cuenta de que la captura de datos varía en el lugar y el tiempo. La captura de un conjunto de datos mínimo obligatorio (predefinido) es un requisito previo para obtener la mayoría de los datos informados (sinópticos). Esto no solo exige consenso sobre los datos mínimos requeridos; también implica definiciones unívocas (por ejemplo, recurrencia versus enfermedad residual).

- **Valor.** Establecer una infraestructura de datos para recopilar e interpretar datos solo vale la pena cuando permite generar conclusiones o mediciones basadas en datos precisos que realmente pueden conducir a mejoras o impactos mensurables en la atención médica⁵.

Procesamiento del lenguaje natural

El procesamiento del lenguaje natural (PLN) es un subcampo que enfatiza el desarrollo de la capacidad de una computadora para comprender el lenguaje humano y es ideal para análisis de contenido a gran escala, como por ejemplo datos de registros médicos electrónicos (REM), especialmente la documentación narrativa de los médicos. Para lograr una comprensión del lenguaje a nivel humano, los sistemas de PLN exitosos deben ir más allá del simple reconocimiento de palabras para incorporar la semántica y la sintaxis en sus análisis⁶.

En lugar de depender de clasificaciones codificadas como los códigos, la PLN permite a las máquinas

inferir significados y sentimientos a partir de datos no estructurados (por ejemplo, prosa escrita en la historia de una enfermedad actual o en la evaluación y el plan de un médico). El PLN permite a los médicos escribir de forma más natural en lugar de tener que ingresar secuencias de texto específicas o seleccionar menús para permitir que una computadora reconozca los datos. El PLN se ha utilizado para el análisis de bases de datos a gran escala de los registros médicos electrónicos (REM) para detectar eventos adversos y complicaciones posoperatorias a partir de la documentación médica⁵, y muchos sistemas REM ahora incorporan PLN (por ejemplo, para lograr la codificación automatizada de reclamos) en su arquitectura de *software* subyacente para mejorar flujo de trabajo o facturación⁵.

Paralelamente al uso de PLN para facilitar la extracción de información de salud, los modelos de lenguaje grande (LLM, por sus siglas en inglés *Large Language Model*) corresponden a un campo de la IA que tiene como objetivo imitar las capacidades de procesamiento del lenguaje humano. Utilizando algoritmos *Deep learning*, como las redes neuronales, estos modelos se entrenan con grandes cantidades de datos proporcionados por diversas fuentes y pueden desarrollar la capacidad de realizar diversas y complejas tareas como reconocer, resumir, traducir, predecir e incluso generar texto y otros contenidos⁵. Se han utilizado para potenciar y desarrollar nuevas generaciones de *chatbots* (programas informáticos que procesan el lenguaje y permiten a los seres humanos interactuar con dispositivos digitales como si se estuvieran comunicando con otra persona humana). El lanzamiento de Chat GPT® por parte de OpenAI en noviembre de 2022 atrajo mucha atención de los medios. Su uso potencial como asistente virtual plantea grandes preocupaciones en el ámbito sanitario. Algunas de estas preocupaciones vendrían por la precisión en la información médica: aunque los modelos de lenguaje como Chat GPT pueden generar respuestas contextualmente relevantes, la precisión en el ámbito médico es crucial. Cualquier inexactitud o malentendido en la información proporcionada por un asistente virtual podría tener consecuencias graves para la salud del paciente. Confidencialidad y privacidad: los asistentes virtuales deben manejar información sensible del paciente de manera segura y confidencial. La divulgación accidental de datos médicos confidenciales puede violar la privacidad del paciente y plantear preocupaciones éticas y legales. Limitaciones en el diagnóstico y tratamiento: aunque los asistentes virtuales pueden proporcionar información general sobre síntomas y condiciones médicas, no pueden reemplazar el juicio clínico de un médico capacitado. La dependencia exclusiva en la orientación de un asistente virtual puede llevar a diagnósticos erróneos o tratamientos inadecuados. Responsabilidad y malentendidos: si un asistente virtual proporciona información incorrecta o malinterpretada que deriva en daños para el paciente, surge la cuestión de quién asume la responsabilidad. Los desafíos legales y éticos relacionados con la responsabilidad por el consejo médico proporcionado por un

sistema de inteligencia artificial son una preocupación importante en el ámbito médico. En resumen, si bien la tecnología como el Chat GPT tiene el potencial de mejorar la eficiencia y accesibilidad de la atención médica, también plantea desafíos significativos en términos de precisión, confidencialidad, limitaciones en el diagnóstico y tratamiento, y responsabilidad médica. Estas preocupaciones deben abordarse cuidadosamente para garantizar que la implementación de asistentes virtuales en el ámbito médico sea segura y efectiva.

En pacientes quirúrgicos, el PLN se ha utilizado para revisar automáticamente los REM con el fin de identificar palabras y frases en informes quirúrgicos y notas de progreso, y pudo predecirse la fuga anastomótica después de las resecciones colorrectales. Muchas de sus predicciones reflejaban conocimientos clínicos simples que tendría un cirujano (por ejemplo, tipo de operación y dificultad), pero el algoritmo también fue capaz de ajustar los pesos predictivos de frases que describen a los pacientes (por ejemplo, irritados, cansados) en relación con el día posoperatorio para lograr predicciones de fuga con una sensibilidad del 100% y una especificidad del 72%. La capacidad de los algoritmos para autocorregirse puede aumentar la utilidad de sus predicciones a medida que los conjuntos de datos crecen hasta volverse más representativos de una población de pacientes.

Varios estudios han destacado el uso de PLN para identificar pacientes con enfermedad arterial periférica (EAP) a partir de informes médicos. En una cohorte de 6861 pacientes, un estudio informó que el sistema de PLN permitió la identificación de pacientes con EAP a partir de notas clínicas en la historia clínica electrónica con una precisión de 0,88. El método funcionó mejor en comparación con un enfoque tradicional basado en datos estructurados (operador de selección y contracción mínima absoluta). Otro estudio que investigó un enfoque de PLN para identificar EAP a partir de informes radiológicos mostró una precisión de 0,93 en comparación con el procedimiento de referencia (estándar de oro) definido manualmente por operadores humanos⁶.

Redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales (RNA), un subcampo del aprendizaje automático, están inspiradas en los sistemas nerviosos biológicos y se han vuelto de suma importancia en muchas aplicaciones de IA. Las RNA procesan señales en capas de unidades computacionales simples (neuronas). Luego, las conexiones entre neuronas se parametrizan mediante pesos que cambian a medida que la red aprende diferentes mapas de entrada-salida correspondientes a tareas como el reconocimiento de patrones/imágenes y la clasificación de datos⁵. Las redes de aprendizaje profundo son redes neuronales compuestas de muchas capas y pueden aprender patrones más complejos y sutiles que las redes neuronales simples de una o dos capas.

Las redes neuronales profundas pueden reutilizar las características calculadas en una capa oculta determinada en capas ocultas superiores. Esto permite que una red neuronal profunda explore la estructura compositiva de una función y aproxima muchas funciones naturales con menos pesos y unidades. Mientras que una red neuronal superficial debe reconstruir la función a la que se aproxima, como una tabla de búsqueda (aunque las piezas se superponen y se suman), una red neuronal profunda puede beneficiarse de su estructura jerárquica. Una arquitectura más profunda puede aumentar la precisión con la que se puede aproximar una función con un presupuesto fijo de parámetros y puede mejorar la generalización después de aprender nuevos ejemplos⁷.

Clínicamente, las RNA han superado significativamente a los enfoques de predicción de riesgos más tradicionales. Por ejemplo, al utilizar variables clínicas como el historial del paciente, los medicamentos, la presión arterial y la duración de la estancia hospitalaria, las RNA, en combinación con otros enfoques de *Machine learning* (ML), han producido predicciones de mortalidad hospitalaria después de la reparación abierta de un aneurisma aórtico abdominal con una sensibilidad del 87%, especificidad del 96,1% y una precisión del 95,4%.

Aprendizaje automático

Introducción al aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés, *Machine learning*)

ML es un campo que se centra en el aprendizaje de la IA mediante el desarrollo de algoritmos que representan mejor un conjunto de datos. A diferencia de la programación clásica, en la cual un algoritmo se puede codificar explícitamente usando características conocidas, ML usa subconjuntos de datos para generar un algoritmo que puede usar combinaciones novedosas o diferentes de características y pesos que pueden derivarse de los primeros principios. En ML existen cuatro métodos de aprendizaje comúnmente utilizados, cada uno de ellos útil para resolver diferentes tareas: aprendizaje supervisado, no supervisado, semisupervisado y por refuerzo.

El ML permite a las máquinas aprender y hacer predicciones reconociendo patrones. Los programas informáticos tradicionales se programan explícitamente con un comportamiento deseado (por ejemplo, cuando el usuario hace clic en un icono, se abre un nuevo programa). ML permite que una computadora utilice el etiquetado parcial de los datos (aprendizaje supervisado) o la estructura detectada en los datos mismos (aprendizaje no supervisado) para explicar o hacer predicciones sobre los datos sin programación explícita. El aprendizaje supervisado es útil para entrenar un algoritmo de aprendizaje automático con el objetivo de predecir un resultado conocido, mientras que el aprendizaje no supervisado es útil para buscar patrones dentro de los

datos⁶. Una tercera categoría dentro del aprendizaje automático es el aprendizaje por refuerzo, en el que un programa intenta realizar una tarea (por ejemplo, conducir un automóvil, inferir decisiones médicas) mientras aprende de sus propios éxitos y errores. Se puede conceptualizar el aprendizaje por refuerzo como el equivalente informático del condicionamiento operante y es útil para el ajuste automatizado de predicciones o acciones, como el control de un sistema de páncreas artificial para ajustar la medición y administración de insulina a pacientes diabéticos⁶.

El ML es particularmente útil para identificar patrones sutiles en grandes conjuntos de datos (patrones que pueden ser imperceptibles para los seres humanos que realizan análisis manuales) mediante el empleo de técnicas que permiten relaciones no lineales y efectos multivariados más indirectos y complejos que el análisis estadístico convencional⁶.

Deep learning

El aprendizaje profundo (o *Deep learning* [DL, por sus siglas en inglés]) permite que los modelos computacionales que se componen de múltiples capas de redes neuronales artificiales aprendan representaciones de datos con múltiples niveles de abstracción. Estos métodos han mejorado drásticamente el estado del arte en reconocimiento de voz, reconocimiento visual de objetos y detección de objetos y muchos otros dominios, como el descubrimiento de fármacos y la genómica. El DL descubre estructuras intrincadas en grandes conjuntos de datos, mediante el uso de algoritmo de retropropagación para indicar cómo una máquina debe cambiar sus parámetros internos que se utilizan para calcular la representación en cada capa de la representación en la capa anterior. Las redes convolucionales profundas han supuesto avances en el procesamiento de imágenes, videos, voz y audio, mientras que las redes recurrentes han arrojado luz sobre datos secuenciales, como texto y voz.

Los sistemas de DL se utilizan para identificar objetos en imágenes, transcribir voz en texto, unir noticias, publicaciones o productos con los intereses de los usuarios y seleccionar resultados de búsqueda relevantes. Cada vez más, estas aplicaciones hacen uso de una clase de técnicas llamadas aprendizaje profundo. Las técnicas convencionales de aprendizaje automático tenían un alcance limitado: capacidad de procesar datos naturales en su forma cruda. Durante décadas, construir un sistema de reconocimiento de patrones o de aprendizaje automático requirió ingeniería cuidadosa y considerable experiencia en el campo para diseñar un extractor de características que transformó los datos sin procesar (como los valores de píxeles de una imagen) en una representación interna adecuada o vector de características a partir del cual el subsistema de aprendizaje, a menudo un clasificador, podría detectar o clasificar patrones en la entrada⁸.

Visión por computador

La visión por computadora describe la comprensión de imágenes y videos por parte de las máquinas, y avances significativos han dado como resultado que las máquinas alcancen capacidades a nivel humano en áreas como el reconocimiento de objetos y escenas. Un trabajo importante relacionado con la atención médica en visión por computadora incluye la adquisición e interpretación de imágenes en imágenes axiales con aplicaciones que incluyen diagnóstico asistido por computadora, cirugía guiada por imágenes y colonoscopia virtual. Inicialmente influenciado por el procesamiento estadístico de señales, el campo se ha desplazado recientemente en forma significativa hacia enfoques de aprendizaje automático con mayor uso intensivo de datos, como las redes neuronales, con adaptación a nuevas aplicaciones⁶.

Utilizando enfoques de aprendizaje automático, el trabajo actual en visión por computadora se centra en conceptos de nivel superior, como el análisis basado en imágenes de cohortes de pacientes, estudios longitudinales y la inferencia de condiciones más sutiles, como la toma de decisiones en cirugía. Por ejemplo, el análisis en tiempo real del video laparoscópico ha arrojado una precisión del 92,8% en la identificación automática de los pasos de una gastrectomía en manga y en los pasos faltantes o inesperados. Dado que se estima que un minuto de video quirúrgico de alta definición contiene 25 veces la cantidad de datos encontrados en una imagen de tomografía computarizada de alta resolución, el video podría contener una gran cantidad de datos procesables. Por lo tanto, si bien el análisis de video predictivo está en su infancia, dicho trabajo proporciona una prueba de concepto de que la IA se puede aprovechar para procesar cantidades masivas de datos quirúrgicos para identificar o predecir eventos adversos en tiempo real para apoyar las decisiones clínicas intraoperatorias¹.

Datos históricos

John McCarthy acuñó el término “artificial intelligence” (AI, por sus siglas en inglés; IA, en español en 1955, definiéndola como “la ciencia y la ingeniería para hacer máquinas inteligentes”. Fue muy influyente en el desarrollo inicial de la IA. Con sus colegas, fundó el campo de la IA en 1956 en una conferencia sobre inteligencia artificial en el Dartmouth College.

La conferencia dio origen a lo que se convirtió en una nueva área de investigación interdisciplinaria. Proporcionó un marco intelectual para todos los esfuerzos posteriores de investigación y desarrollo informático.

En la década de 1960, Feigenbaum estudió con Simon y editó y contribuyó a un libro pionero *Computers and Thought*. Cuando Feigenbaum se mudó de Carnegie Tech a Stanford, no es sorprendente que encontrara una fértil polinización cruzada de sus ideas so-

bre la introducción de representaciones explícitas del conocimiento experto heurístico con las del ganador del Premio Nobel Joshua Lederberg, quien también estaba interesado en la formación de teorías biológicas y descubrimiento científico. Feigenbaum también era amigo de Saul Amarel, quien entonces dirigía el laboratorio de IA en el Centro Sarnoff de RCA corporation en Princeton, y juntos discutieron y exploraron cuestiones relacionadas con las formalizaciones de la resolución de problemas humanos⁵.

La IA en Medicina (AIM) surgió en la década de 1970 a partir de nuevos enfoques para representar el conocimiento experto con computadoras, desarrollados inicialmente en la década de 1960 por los investigadores biomédicos Joshua Lederberg y Carl Djerassi, y los investigadores de IA Edward Feigenbaum y Bruce Buchanan de la Universidad de Stanford en el Proyecto Heurístico Dendral. El trabajo del equipo Dendral sobre la elucidación de estructuras moleculares a partir de espectros de masas fue motivado originalmente por el interés de Lederberg en sustancias extrañas y la identificación de especies desde las primeras exploraciones espaciales de la época, y estaba dirigido hacia el descubrimiento científico y la formación de teorías más que hacia la toma de decisiones clínicas⁹. El programa de *software* Dendral[®] es considerado el primer sistema experto porque automatiza el proceso de toma de decisiones y el comportamiento de solución de problemas de los químicos orgánicos.

Sin embargo, anteriormente, a partir de los años 1950 y durante los años 1960, hubo una tendencia paralela de estudios en investigación biomédica inspirados en la cibernética de Wiener y el modelado de redes neuronales de McCulloch y Pitts, lo que condujo a iniciativas y conferencias europeas sobre Medicina Cibernética. Estos estudios, sin embargo, no llegaron muy lejos, debido al carácter en gran medida teórico y especulativo de los modelos propuestos para problemas complejos de control de la retroalimentación en biología y para el aprendizaje en los seres humanos, que resultaron ser tecnológica y científicamente prematuros⁹. En cambio, la documentación clínica y los sistemas médicos desarrollados tanto en Europa como en los Estados Unidos demostraron ser los primeros sistemas de *software* experimentales basados en computadora que se mostraron prometedores para la aplicación clínica rutinaria en el registro y análisis de datos clínicos, como se demostró en la primera conferencia internacional en Elsinore, Dinamarca, 1966. En ese momento, los investigadores de IA se concentraban en cuestiones de búsqueda y resolución general de problemas de medios y fines, como el Solucionador General de Problemas (GPS) de Newell, un programa de ordenador creado en 1957 por Allen Newell con el objetivo de construir una máquina capaz de resolver problemas de carácter general. Cualquier problema simbólico formal puede ser resuelto, en principio, por el GPS. Por ejemplo: probar teoremas, resolver problemas geométricos, trabajar con lógica proposicional y jugar al ajedrez, mostrando cómo resolver con éxito juegos, como en

el juego de damas de Samuel, mientras desarrollaban lenguajes novedosos para la resolución de problemas, y resolución y procesamiento de listas como IPL (lenguaje de procesamiento de información). No se consideró que tales enfoques lógicos de alto nivel se aplicarían de manera útil a los problemas más complejos, altamente ambiguos y abiertos, con categorizaciones imprecisamente definidas para los objetivos de la toma de decisiones bajo considerable riesgo e incertidumbre, como los que surgen en el diagnóstico médico y tratamiento. En cambio, como se mencionó anteriormente, los enfoques estadísticos fueron la norma para el análisis de datos médicos y el modelado de decisiones. Después de que apareciera el artículo de Ledley y Lusted en *Science* en 1959, el paradigma bayesiano proporcionó el principal enfoque de modelado del razonamiento clínico. Sin embargo, el trabajo clínico de la época ilustró la promesa de sistemas prácticos para la recopilación y el análisis de datos clínicos y el apoyo a las decisiones, que poco después varios libros discutieron y resumieron. Todos estos, al igual que las presentaciones y artículos de Elsinore, enfatizaron una combinación de sistemas prácticos basados en computadora para el procesamiento de información, modelos probabilísticos formales para el razonamiento médico o combinaciones de ambos.

Mientras tanto, los *softwares* para apoyar las investigaciones biomédicas científicas tendían a ser extensiones y versiones ampliadas de métodos estadísticos de análisis de conjuntos de datos de población o modelos de simulación de mecanismos biológicos, a menudo con aplicaciones médicas para ayudar en la interpretación de datos clínicos.

La forma en que se utilizó la IA para modelar la resolución de problemas médicos se originó a partir de la noción de que la experiencia y el conocimiento de los especialistas debía estudiarse para modelar la formación de teorías y la resolución de problemas con esquemas computacionales.

Los orígenes más claros de la IA provienen del trabajo de Simon y Newell, cuya experiencia combinada en economía, administración, física y psicología cognitiva los llevó a compartir la curiosidad sobre cómo las computadoras podrían modelar el comportamiento humano y ayudarlo a comprender la resolución de problemas. Simon acuñó la frase "Ciencias de lo artificial" para resumir y describir el campo emergente de la IA en sus famosas conferencias Compton en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en la primavera de 1968, que fueron recopiladas y publicadas. Las contribuciones colaborativas de Newell y Simon recibieron el Premio Turing en 1976, y su conferencia conjunta representó una clara destilación de su filosofía para la IA.

Desde una perspectiva histórica, es algo prematuro llamar "historia" a lo que ahora estamos escribiendo, ya que muchos de los que contribuyeron a los inicios de la IA en la medicina todavía están activos y, en el mejor de los casos, podemos apreciar sus reflexiones personales sobre el desarrollo de la IA.

Durante los años siguientes, las computadoras

comenzaron a resolver muchos problemas matemáticos complejos que pronto pasaron a ser de interés para el Departamento de Defensa de Estados Unidos. Luego, después de un período de desaceleración en los años 80, se inició una nueva era dorada con el uso de la minería de datos logísticos y diagnóstico médico. Se desarrollaron instrumentos con una potencia computacional cada vez mayor. Esta nueva capacidad permitió a Big Blue vencer finalmente al campeón mundial de ajedrez, Gary Kasparov, en 11 de mayo de 1997.

En 1998, el sistema Da Vinci[®] se utilizó por primera vez para procedimientos cardiotorácicos. Además de la buena visión quirúrgica intrínseca, los sistemas asistidos por robot ofrecen ventajas adicionales como la disponibilidad de una visión ampliada y la facilidad de observar la válvula mitral en la posición fisiológica. Por lo tanto, se espera que en el futuro se sigan desarrollando las cirugías robóticas que facilitan los procedimientos complicados¹⁰. Geoffrey Hinton, profesor en el Departamento de Informática de la Universidad de Toronto, utilizó por primera vez en 2012 el término *deep learning* (aprendizaje profundo). El aprendizaje profundo permite que los modelos computacionales que se componen de múltiples capas de procesamiento aprendan representaciones de datos con múltiples niveles de abstracción. Estos métodos han mejorado drásticamente el estado del arte en reconocimiento de voz, reconocimiento visual de objetos, detección de objetos y muchos otros dominios como el descubrimiento de fármacos y la genómica. El aprendizaje profundo descubre estructuras intrincadas en grandes conjuntos de datos mediante el uso del algoritmo de retropropagación para indicar cómo una máquina debe cambiar los parámetros internos que se utilizan para calcular la representación en cada capa a partir de la representación en la capa anterior. Las redes convolucionales profundas han generado avances en el procesamiento de imágenes, videos, voz y audio, mientras que las redes recurrentes han arrojado luz sobre datos secuenciales como texto y voz¹¹.

Hoy en día, la literatura sobre IA es abundante y desenfrenada. La IA fue retratada como una posible amenaza para la economía mundial durante el foro económico de 2015 celebrado en Davos, donde Stephen Hawking incluso expresó su temor de que la IA algún día pueda eliminar a la humanidad.

En 2018 se crea Chat GPT[®], un modelo de lenguaje grande desarrollado por OpenAI. Se basa en la arquitectura GPT y utiliza técnicas de aprendizaje profundo para generar texto en lenguaje natural. El modelo ha sido desarrollado utilizando estrategias de aprendizaje supervisadas y de refuerzo¹². La idea de la inteligencia artificial (IA) tiene una larga historia. Sin embargo, resultó que alcanzar la inteligencia a niveles humanos es más complicado de lo que se había previsto inicialmente. Hoy estamos experimentando un interés renovado en la IA, impulsado por un enorme aumento en la potencia informática y un aumento aún mayor en los datos, en combinación con tecnologías de IA mejoradas como el aprendizaje profundo.

Resumen:

- 1943: McCulloch y Pitts concibieron un modelo abstracto y simple de una neurona artificial; este es el elemento básico de procesamiento en una red neuronal artificial.
- 1955: John McCarthy acuñó el término “artificial” inteligencia” (IA), definiéndola como “la ciencia y la ingeniería para hacer máquinas inteligentes”
- 1956: John McCarthy fundó el campo de la IA en 1956 en una conferencia sobre inteligencia artificial en el Dartmouth College, proporcionando un marco intelectual para todos los esfuerzos posteriores de investigación y desarrollo informático.
- 1960: los investigadores biomédicos Joshua Lederberg y Carl Djerassi y los investigadores de IA Edward Feigenbaum y Bruce Buchanan de la Universidad de Stanford en el Proyecto Heurístico Dendral. El programa de *software* Dendral es considerado el primer sistema experto, porque automatiza el proceso de toma de decisiones y el comportamiento de solución de problemas de los químicos orgánicos.
- 1966: en ese momento, los investigadores de IA se concentraban en cuestiones de búsqueda y resolución general de problemas de medios y fines, como en el GPS de Newell.
- 1968: Simon acuñó la frase “Ciencias de lo artificial” para resumir y describir el campo emergente de la IA en sus famosas conferencias Compton en el MIT.
- 1970: la IA en Medicina (AIM) surgió en la década de 1970 a partir de nuevos enfoques para representar el conocimiento experto con computadoras.
- 1976: las contribuciones colaborativas de Newell y Simon recibieron el Premio Turing, y su conferencia conjunta representó una clara destilación de su filosofía para la IA.
- 1997: Big Blue vence finalmente al campeón mundial de ajedrez, Gary Kasparov.
- En 1998, el sistema Da Vinci se utilizó por primera vez para procedimientos cardiotorácicos.
- 2012: Geoffrey Hinton utilizó por primera vez el término *deep learning* o aprendizaje profundo.
- 2018: se crea Chat GPT, un modelo de lenguaje grande desarrollado por OpenAI.
- Realidad aumentada

Aplicación de la IA en cirugía

La cirugía en particular se beneficiará sustancialmente de la adopción de la IA. Con el crecimiento exponencial de los datos en la atención sanitaria moderna, el poder de la IA para sintetizar y agregar información se puede aprovechar para ofrecer resultados específicos útiles para los cirujanos durante toda la atención al paciente, desde la consulta inicial hasta el tratamiento posoperatorio. Dados los innumerables mecanismos novedosos para integrar la IA en la práctica quirúrgica, es difícil describir adecuadamente toda la amplitud de posibilidades.

Preoperatoriamente, los algoritmos de IA pueden proporcionar análisis predictivos que pueden ayudar en la identificación temprana de la enfermedad, lo que propicia una intervención más oportuna que puede mejorar los resultados y el pronóstico. Posteriormente, los cirujanos podrían utilizar la IA para analizar el historial médico único del paciente, incluidos registros médicos, laboratorios, imágenes y resultados informados por los pacientes, lo que ayuda en el desarrollo de planes de tratamiento personalizados a un nivel más granular. Dentro del quirófano, la IA es capaz de aumentar la toma de decisiones mediante el análisis de datos de múltiples fuentes en tiempo real para proporcionar retroalimentación continua a fin de mejorar la precisión quirúrgica. Dicha retroalimentación puede derivar en una mayor eficiencia y ayudar a prevenir eventos adversos. Después del alta, la IA puede recopilar y evaluar datos de los sistemas de monitorización de pacientes para identificar tendencias y detectar posibles complicaciones entre las visitas posoperatorias. De manera más rutinaria se pueden crear plataformas de IA con el objetivo de que funcionen como la primera línea de comunicación para los pacientes con respecto a las preguntas más frecuentes o inquietudes menores, con la capacidad de derivar las inquietudes del paciente a un proveedor. Estas intervenciones personalizadas pueden minimizar las complicaciones, acelerar el tiempo de recuperación y mejorar la experiencia general del paciente¹³.

La integración de la IA en la práctica clínica ha puesto de relieve preocupaciones notables sobre la privacidad del paciente y el intercambio de datos. Debido a que la precisión y fiabilidad de las respuestas generadas por los sistemas de inteligencia artificial reflejan la accesibilidad y la calidad de los datos subyacentes de los pacientes, dichas plataformas dependen particularmente de inmensas cantidades de información médica para brindar respuestas óptimas a las preguntas. Debido a la cantidad sustancial de datos concentrados de esta manera, existen preocupaciones válidas con respecto a la seguridad y privacidad de la información médica protegida, y violaciones anteriores de bases de datos médicas subrayan esta falibilidad potencial. El acceso no autorizado a estos conjuntos de datos puede tener efectos adversos (y muchas veces consecuencias imprevistas) tanto para las personas como para los sistemas sanitarios. A nivel individual, los pacientes podrían dudar en dar su consentimiento para el uso de datos privados para entrenar la IA, sobre todo porque es posible que no conozcan del todo la información a la que podrían acceder sistemas externos. A medida que continúan los avances técnicos, es necesaria una mayor adaptación por parte de la industria de la salud para salvaguardar la información del paciente¹³.

Las dudas con respecto a la privacidad y seguridad de los datos de los pacientes refuerzan las implicaciones médico-legales que deben considerarse al implementar la IA en la cirugía. Hasta ahora, las normas y protocolos que regulan el funcionamiento clínico de la IA están mal definidos o son inexistentes.

En consecuencia, la IA puede ser utilizada de manera inapropiada entre cirujanos que no están familiarizados con la tecnología, lo que podría provocar errores médicos y, en consecuencia, responsabilidad por negligencia. En caso de que surjan complicaciones por el uso de la IA durante la prestación de atención médica o los procedimientos quirúrgicos, la carga de la responsabilidad puede ser difícil de determinar. ¿Sería responsable el cirujano, el hospital o el desarrollador de la herramienta de IA? Estas incertidumbres deberán resolverse a medida que se generalice la integración de la IA en la cirugía.

Sin embargo, existen múltiples estrategias que pueden implementarse para aliviar las preocupaciones sobre la integración de sistemas basados en IA en la práctica médica. Para mejorar la fiabilidad de la asistencia proporcionada por los sistemas basados en IA, podría ser beneficioso que dicha asistencia se someta, toda, a una evaluación secundaria requerida por parte de un profesional médico calificado. En ese sentido, las respuestas generadas por la IA deberían incluir exenciones de responsabilidad que reconozcan las posibles diferencias entre la IA y el consejo médico generado por el cirujano. Para abordar las preocupaciones relacionadas con la privacidad y la seguridad de los datos de los pacientes, será necesario emplear protocolos de desidentificación para toda la información de los pacientes y establecer medidas de seguridad sólidas para las bases de datos. Además, los pacientes deben recibir educación sobre el uso potencial de sus datos para mitigar sus preocupaciones. Durante las primeras fases de adopción, el consentimiento informado es necesario para garantizar que los pacientes respalden el uso de la IA en su atención y tengan la opción de negar su participación. La mejora continua de la precisión y la calidad de los sistemas de IA con el tiempo minimizará aún más el potencial de resultados subóptimos o complicaciones derivadas de sistemas basados en IA.

A medida que se expande la integración de la IA en el espacio quirúrgico, es evidente que la tecnología tendrá un impacto inmenso en el campo. Sin embargo, el consiguiente cambio de paradigma provocado por esta tendencia justifica la consideración de sus consecuencias éticas. Reconocer los beneficios que confiere la IA y, al mismo tiempo, gestionar los desafíos que puedan surgir, dará como resultado una relación de cooperación en lugar de confrontación¹³. Haciendo una búsqueda exhaustiva se puede ver un avance en las contribuciones de la IA en gastroenterología, en particular, para la detección temprana del cáncer colorrectal (CCR) mediante la detección y clasificación de pólipos. El procesamiento del lenguaje natural es otra área crucial de la IA que se utiliza para hacer que la máquina lea, comprenda e interprete el lenguaje humano. En el tratamiento del CCR, el procesamiento del lenguaje natural ha sido útil para extraer información clínica relevante de la colonoscopia escaneada y los informes de patología que, de otro modo, tendrían que extraerse manualmente. La visión por computadora y el procesamiento de imágenes también han sido útiles

en la exploración de la colonoscopia, mejorando la visualización de los tejidos lesionados. Sin embargo, de todos los campos de la IA, el aprendizaje automático es el más utilizado en tres áreas de la medicina: detección y diagnóstico tempranos, tratamiento y predicción de resultados y evaluación del pronóstico. La endoscopia gastrointestinal ha avanzado en las tres áreas, pero hay una tendencia clara en la detección y clasificación de pólipos (véanse Wang y cols., Nogueira-Rodríguez y cols. y las referencias allí contenidas), debido a que la colonoscopia tradicional tiene éxito en la detección de pólipos de más de 10 mm, que los médicos detectan fácilmente durante la inspección. Sin embargo, la tasa de errores en la detección de pólipos aumenta con pólipos de menor tamaño y/o planos.

En la actualidad, la investigación y el desarrollo se centran en tecnologías de IA que ayudan a la comprensión y al juicio del cirujano durante la cirugía, como la navegación anatómica. También se están desarrollando sistemas de IA para reconocer qué fase quirúrgica está en curso. Dichos sistemas de reconocimiento de fase quirúrgica se consideran para el almacenamiento efectivo de videos y educación quirúrgica en el futuro, para su uso en sistemas para evaluar objetivamente la habilidad de los cirujanos. En este momento, tampoco se considera práctico permitir que la IA tome decisiones intraoperatorias o mueva los fórceps automáticamente desde un punto de vista ético. En la actualidad, la investigación de IA en cirugía tiene varias limitaciones y es deseable desarrollar sistemas prácticos que realmente beneficien la práctica clínica en el futuro⁸. En los últimos años han aumentado y están disponibles las publicaciones de investigaciones básicas prometedoras sobre tecnología de IA relacionada con la cirugía. Muchas cirugías recientes se emplean bajo visión endoscópica (por ejemplo, cirugía torácica, laparoscópica y robótica), la llamada cirugía mínimamente invasiva (MIS), donde las imágenes se pueden grabar y compartir digitalmente con facilidad, lo que la hace adecuada para que la investigación de la IA ingrese en el campo, porque los datos de imágenes se pueden utilizar como un conjunto de datos de entrenamiento para el aprendizaje automático. Además, también se considera que la cirugía robótica en la que el movimiento de los instrumentos quirúrgicos se controla mecánicamente tiene potencial para el desarrollo futuro de la cirugía autónoma.

En este momento, tampoco se considera práctico, desde un punto de vista ético, permitir que la IA tome decisiones intraoperatorias o mueva los fórceps automáticamente. Además, por ejemplo, el estómago no es un órgano fijo como el cerebro o el globo ocular, por lo que hay que decir que los obstáculos aún son altos para utilizar la tecnología de IA con el fin de exponer de forma autónoma el campo quirúrgico, realizar disección o anastomosis del tracto intestinal. Por ello, en la actualidad, la investigación y el desarrollo se centran en tecnologías de IA que ayuden al juicio del cirujano durante la cirugía, como la navegación anatómica. También se están desarrollando sistemas de IA para recono-

cer qué fase quirúrgica está en curso. Dichos sistemas de reconocimiento de fase quirúrgica se consideran para el almacenamiento eficaz de videos quirúrgicos y con fines educativos, en el futuro, para su uso en sistemas para evaluar objetivamente la habilidad de los cirujanos⁸.

El reconocimiento anatómico tiene el potencial de convertirse en una cirugía respaldada por IA en el futuro. Está directamente relacionado con la cirugía de navegación en el sentido de que guía al cirujano para realizar la cirugía de manera adecuada. Se espera que reduzca el error humano y la carga para el cirujano, y que tenga una importancia educativa significativa, especialmente para los cirujanos novatos. Kitaguchi y cols. reconocieron con éxito la arteria mesentérica inferior en la resección laparoscópica del colon sigmoide o en la resección rectal, con un coeficiente de Dice de 0,798 y alta precisión. Igaki desarrolló una navegación del plano mesorrectal total basada en IA para cirugía colorrectal laparoscópica. Sato y cols. desarrollaron un modelo de IA para identificar el nervio laríngeo recurrente en la esofagectomía toracoscópica con un coeficiente de Dice de 0,58, que era superior al de la conciencia de los cirujanos generales. La preservación del nervio laríngeo recurrente es uno de los aspectos más importantes de la cirugía del cáncer de esófago, y estas técnicas respaldadas por IA tienen el potencial de mejorar la calidad de la cirugía⁸.

Ha habido relativamente muchos informes sobre el reconocimiento de procesos quirúrgicos basados en IA creado por DL utilizando instantáneas intraoperatorias. Aunque estos sistemas no están directamente relacionados con los resultados clínicos en este momento, podrían convertirse en la base para futuros desarrollos quirúrgicos respaldados por IA. En los últimos años, muchos procedimientos MIS se han estandarizado y generalizado, lo que facilita dichos estudios incluso a escala multicéntrica. Shinozuka y cols. desarrollaron un modelo de reconocimiento de la fase quirúrgica de la colecistectomía laparoscópica y comunicaron una alta tasa de precisión del 97%. Cheng y cols. desarrollaron un modelo similar utilizando videos de colecistectomía laparoscópica en escala multicéntrica, que también mostró una alta tasa de precisión del 91,05%. También desarrollaron un modelo a partir de 300 resecciones colorrectales laparoscópicas de 19 centros de todo Japón. El estudio anterior de un solo centro tuvo una precisión del 91,9%, pero la precisión disminuyó debido a la diversidad de enfoques quirúrgicos en un entorno multicéntrico. La precisión de la clasificación de acciones de la IA (p. ej., disección, exposición) fue del 83,2% y la precisión del reconocimiento de instrumentos quirúrgicos fue del 51,2%. También informaron sobre un modelo para la escisión mesorrectal total endoscópica transanal con una tasa de precisión del 93,2%. Sasaki y cols. informaron un modelo de reconocimiento de fases para la resección hepática laparoscópica con una tasa de precisión del 94,7%. Takeuchi y cols. informaron sobre la esofagectomía robótica con una tasa de precisión del 84%. También informaron que la tasa de precisión

en la reparación laparoscópica de la hernia inguinal fue del 88,81% y del 85,82% para unilateral y bilateral, respectivamente. En los casos de hernia unilateral, la duración de la incisión peritoneal y la disección de la hernia detectada por IA fue significativamente más corta en los expertos que en los residentes. Ward y cols. informaron un modelo de reconocimiento de fase de IA para miotomía endoscópica transoral y su precisión fue del 87,6%. Hashimoto y cols. informaron sobre la gastrectomía en manga laparoscópica para la obesidad con una tasa de precisión del $82\% \pm 4\%$ ⁸. Otra posibilidad para el uso de la IA en relación con la cirugía es la de utilizar datos de DL a fin de evaluar objetivamente las habilidades de los cirujanos con la puntuación. También se han realizado varios estudios fundamentales sobre este tema. En primer lugar, se informaron modelos de IA para evaluar las habilidades de sutura endoscópica o robótica y atar nudos en caja seca en Alemania y Estados Unidos. Igaki y cols. informaron que la confianza de la IA en el reconocimiento del campo quirúrgico estandarizado obtenido durante la cirugía en el video aplicado de cirugía colorrectal laparoscópica al examen de calificación de habilidades quirúrgicas del JSES se correlacionó con la puntuación obtenida por los árbitros con un coeficiente de correlación de rango de Spearman de 0,81. Posteriormente, informaron que la precisión de un modelo de IA que divide la puntuación obtenida en el examen JSES en tres categorías, media -2, media ± 1 y media +2 desviación estándar, fue del 75,0%. También se centraron en la evaluación de la habilidad de sutura en bolsa de tabaco (en la escisión mesorrectal endoscópica transanal) e informaron que las puntuaciones de habilidad de la IA se correlacionaron significativamente con la duración del tiempo de sutura y la experiencia del cirujano⁸.

Por lo tanto, si bien se han realizado muchas investigaciones relacionadas con la IA en cirugía, existen algunas limitaciones en este momento y no debemos sobreestimar su utilidad. En primer lugar, la mayoría de los estudios se han realizado utilizando datos de una sola institución o de una región limitada, y la generalidad de sus técnicas de IA no está clara. En segundo lugar, la mayoría de los estudios de IA sobre cirugía se encuentran en la etapa de investigación básica y ninguno ha demostrado claramente su utilidad en la práctica clínica general. En tercer lugar, en cuanto a la cirugía de navegación que utiliza tecnología de inteligencia artificial, no se pretende lograr una cirugía superior al estándar (como la cirugía experta), sino más bien evitar errores humanos simples y educar a los cirujanos novatos en este punto. Si bien se comprenden estas limitaciones, es deseable desarrollar un sistema práctico que realmente beneficie la práctica clínica sin exceso de confianza en este momento⁸.

Aunque existen varias limitaciones en este momento, continuarán los intentos de introducir la tecnología de IA en los campos quirúrgicos. En la actualidad, la cirugía de navegación utilizando guía anatómica es probablemente la más realista. Sería importante que estas tecnologías se incorporaran al campo de la cirugía

del cáncer gástrico en el futuro para reducir el error humano, reducir la carga para el cirujano y aumentar los beneficios para el paciente⁸.

Sinergia entre la IA y otros campos

La promesa de la IA reside en aplicaciones que combinan aspectos de cada uno de los subcampos anteriores con otros elementos de la informática, como la gestión de bases de datos y el procesamiento de señales. El creciente potencial de la IA en la cirugía es análogo a otros desarrollos tecnológicos recientes (por ejemplo, teléfonos móviles, computación en la nube) que han surgido de la intersección de avances heterocíclicos tanto en hardware como en *software* (es decir, a medida que avanza el hardware, también lo hace el *software* y viceversa)⁶.

La sinergia entre campos también es importante para ampliar las aplicaciones de la IA. Combinando PLN y visión por computadora, la búsqueda de imágenes de Google[®] (Mountain View, CA, EE. UU.) puede mostrar imágenes relevantes en respuesta a una consulta textual, como una palabra o frase. Además, las redes neuronales, específicamente el aprendizaje profundo, forman ahora una parte importante de la arquitectura subyacente en varios sistemas de IA. Por ejemplo, el aprendizaje profundo en PLN ha permitido mejoras significativas en la precisión de la traducción (traducción un 60% más precisa mediante Google Translate[®]), mientras que su uso en visión por computadora ha dado como resultado una mayor precisión en la clasificación de imágenes (una clasificación de imágenes un 42% más precisa) por AlexNet^{®6}. Las aplicaciones clínicas de dicho trabajo incluyen la utilización exitosa del aprendizaje profundo para crear un algoritmo de visión por computadora para la clasificación de imágenes de lesiones cutáneas benignas y malignas de teléfonos inteligentes con un nivel de precisión equivalente al de los dermatólogos. Los análisis de PLN y ML de pacientes colorrectales posoperatorios demostraron que la predicción de las fugas anastomóticas mejoró hasta un 92% de precisión cuando se analizaron diferentes tipos de datos en conjunto en lugar de individualmente (precisión de los signos vitales -65 %; valores de laboratorio - 74 %; datos de texto - 83 %) ⁶.

Los primeros intentos de utilizar la IA para aumentar las habilidades técnicas se centraron en pequeñas hazañas, como la deconstrucción de tareas y la realización autónoma de tareas simples (por ejemplo, suturar, hacer nudos). Estos esfuerzos han sido fundamentales para establecer una base de conocimiento para tareas de IA más complejas. Por ejemplo, el robot autónomo de tejido inteligente (STAR[®]) desarrollado por la Universidad Johns Hopkins estaba equipado con algoritmos que le permitieron igualar o superar a los cirujanos humanos en anastomosis intestinales autónomas ex vivo e in vivo en modelos animales⁶.

Si bien la cirugía robótica verdaderamente autónoma seguirá fuera de nuestro alcance durante algún

tiempo, la sinergia entre campos probablemente acelerará las capacidades de la IA para aumentar la atención quirúrgica. Para la IA, gran parte de su potencial clínico reside en su capacidad para analizar combinaciones de datos estructurados y no estructurados (por ejemplo, notas de EMR, signos vitales, valores de laboratorio, videos y otros aspectos de “grandes datos”) para generar apoyo a las decisiones clínicas. Cada tipo de datos podría analizarse de forma independiente o en conjunto con diferentes tipos de algoritmos para generar innovaciones.

El verdadero potencial de la IA aún está por verse y podría ser difícil de predecir en este momento. Las reacciones sinérgicas entre diferentes tecnologías pueden conducir a una tecnología revolucionaria imprevista; por ejemplo, las recientes combinaciones sinérgicas de robótica avanzada, visión por computadora y redes neuronales llevaron a la llegada de los automóviles autónomos. De manera similar, los componentes independientes dentro de la IA y otros campos podrían combinarse para crear un efecto multiplicador de fuerza con cambios imprevistos en la prestación de atención médica. Por lo tanto, los cirujanos deben participar en la evaluación de la calidad y aplicabilidad de los avances de la IA para garantizar una traducción adecuada al sector clínico⁶.

Principios de la tecnología AI y AR en cirugía

La IA abrevia como IA, y su principio se puede resumir a grandes rasgos en la combinación de una gran cantidad de datos, una gran potencia informática y algoritmos inteligentes para construir modelos que resuelvan problemas específicos, permitiendo a los programas aprender automáticamente patrones o características potenciales a partir de los datos, y así logrando un proceso de pensamiento similar al de los humanos. La realidad aumentada (AR) utiliza gráficos por computadora y tecnología de visualización para generar objetos virtuales que no existen en el mundo real y ubicarlos con precisión en el mundo real, presentando a los usuarios un nuevo entorno con una percepción más rica. Actualmente, la tecnología de IA se aplica principalmente en las etapas de planificación y navegación de robots quirúrgicos ortopédicos. Al transmitir los datos de imágenes de rayos X, tomografía computarizada o resonancia magnética de los pacientes a las computadoras antes de la cirugía, la IA puede usar la diferencia en la textura o el color de la angiografía vascular y las exploraciones seccionales por tomografía computarizada o resonancia magnética para construir imágenes de modelos 2D o 3D que mapean el espacio quirúrgico. Sobre esta base, la IA puede planificar la ruta quirúrgica, simular el proceso quirúrgico, analizar y procesar imágenes intraoperatorias en tiempo real, segmentar y etiquetar de forma autónoma estructuras anatómicas y planificar rutas quirúrgicas más científicamente razonables basadas en puntos clave reconocidos. A diferencia de la IA, los sistemas AR utilizan prin-

principalmente tecnología de representación no realista o de realidad inversa para representar el modelo virtual establecido y presentarlo en la pantalla, reintegrando con precisión la imagen del modelo y la información de guía en la escena real, mostrando dinámicamente la relación anatómica entre los instrumentos quirúrgicos, y sitios quirúrgicos, y ayudar con precisión a los cirujanos a completar las operaciones quirúrgicas, logrando la visualización y la percepción profunda de la información del cirujano primario. El desarrollo y la integración de IA y AR en dispositivos quirúrgicos se realizan en diversos grados, pero la combinación de sistemas de IA y AR puede lograr un efecto sinérgico descrito como “ $1 + 1 > 2$ ”, que permite una combinación inteligente y un posicionamiento preciso, tres niveles: observación dinámica dimensional, visualización de la profundidad y el ángulo del trayecto quirúrgico, evitando áreas peligrosas, proporcionando información rica de imágenes quirúrgicas y monitorizando el entorno y el proceso quirúrgico. Actualmente, se ha aplicado en cirugía ortopédica, cirugía traumatológica y cirugía de columna con excelentes resultados¹⁴.

Chatbots

Los *chatbots* son sistemas de *software* que permiten a los usuarios interactuar con un programa como si estuvieran hablando con otra persona, a menudo utilizando el aprendizaje automático para lograr el efecto de una respuesta inteligente. Los *chatbots* se utilizan en todas las áreas de la salud para brindar información, promover cambios de comportamiento y brindar tratamiento¹⁵.

La IA se está volviendo cada vez más popular mediante el uso de grandes modelos de lenguaje (LLM), como ChatGPT® (Chat Generative Pre Trained Transformer, OpenAI), Bard® (Google) y Bing Chat® (Microsoft), impulsado por inteligencia artificial (IA). Se trata de sistemas avanzados de inteligencia artificial que se entrenan con grandes cantidades de datos y pueden generar texto similar al humano, responder preguntas, realizar tareas relacionadas con el lenguaje y ayudar en diversas aplicaciones mediante el procesamiento del lenguaje natural. Los LLM se consideran un tipo de chatbot debido a su capacidad para participar en interacciones conversacionales y proporcionar respuestas basadas en la comprensión del lenguaje natural. Esta tecnología está revolucionando y transformando el campo médico, desde mejorar el diagnóstico y analizar imágenes radiográficas hasta predecir la progresión de la enfermedad y abordar las barreras a la atención. Ha inspirado a pacientes, médicos, enfermeras e instituciones a considerar si los *chatbots* pueden aprovecharse de manera adecuada, eficaz y ética para la prestación de atención médica y cómo hacerlo¹.

Los resultados han sido muy variados. Se sabe menos sobre cómo funcionan varios *chatbots* cuando se les pregunta sobre un tema médico sobre el cual

existe incertidumbre médica, particularmente dentro de la clínica quirúrgica¹.

ChatGPT es un MLL desarrollado por OpenAI. Se basa en la arquitectura GPT y utiliza técnicas de aprendizaje profundo (DL) para generar texto en lenguaje natural. El modelo ha sido desarrollado utilizando estrategias de aprendizaje supervisadas y de refuerzo. ChatGPT puede generar texto coherente y gramaticalmente correcto, lo cual es un avance importante en IA⁴. Muestra un gran potencial para el uso de grandes modelos de lenguaje y aprendizaje reforzado a partir de comentarios humanos para mejorar la lógica de alerta de apoyo a la decisión clínica (CDS) y potencialmente otras áreas médicas que involucran una lógica clínica compleja, paso clave en el desarrollo de un sistema de atención médica de aprendizaje avanzado. ChatGPT ha ganado rápidamente la atención mundial por sus respuestas precisas y bien formuladas a diversos temas. Como médicos tenemos la oportunidad de ayudar a guiar y desarrollar nuevas formas de utilizar esta poderosa herramienta. Se puede utilizar en investigación y desarrollo para analizar grandes cantidades de datos médicos, identificar tendencias y proporcionar información sobre las mejores prácticas clínicas. Los médicos deben considerar el uso de ChatGPT en su práctica clínica. Además, utilizamos ChatGPT como una herramienta para apoyar la práctica clínica de los médicos, no para reemplazarlos¹.

A pesar de la creciente popularidad y rendimiento de ChatGPT, todavía faltan estudios que evalúen su uso en la práctica clínica. Al mismo tiempo, debemos ser conscientes de que es un arma de doble filo, con funciones poderosas y peligros potenciales. Para comprender mejor la aplicación de ChatGPT en la práctica clínica, presentamos su progreso reciente en la práctica clínica para ayudar a los investigadores interesados a comprender de manera efectiva los aspectos clave de este tema y proporcionar posibles direcciones de investigación futuras. Aunque ChatGPT ha demostrado tener perspectivas prometedoras en la práctica clínica, se necesita más investigación para refinar y mejorar sus capacidades. La integración de ChatGPT en los sistemas de registros médicos electrónicos (EHR) existentes tiene el potencial de mejorar la precisión del diagnóstico, la planificación del tratamiento y los resultados de los pacientes. Sin embargo, es esencial considerar el ChatGPT como una herramienta valiosa que complementa la experiencia de los profesionales de la salud en lugar de reemplazarlos¹.

El propósito de este estudio fue impulsar un de IA como asistente médico para posibles diagnósticos quirúrgicos, aplicados en el servicio de cirugía del hospital escuela, investigar la concordancia de las respuestas de los *chatbots* con los médicos cirujanos¹.

Se realizó un estudio prospectivo, longitudinal, aplicando nuestro *chatbots* en pacientes que ingresan en el Servicio de Cirugía del Hospital Escuela General José de San Martín por patología abdominal y se obtuvo un diagnóstico

presuntivo comparando con la atención humana.

Nuestro chatbot está diseñado para proporcionar diagnósticos médicos basados en preguntas y respuestas. Los usuarios interactúan con él respondiendo a una serie de preguntas relacionadas con diferentes regiones del cuerpo (cabeza/cuello, tórax, abdomen, etc.).

La aplicación utiliza una interacción hacia una base de datos de inteligencia artificial para retornar respuestas contextualmente relevantes y

proporciona al usuario hasta cuatro diagnósticos posibles basados en las respuestas.

¿Cómo se obtienen las preguntas?

Los usuarios seleccionan una región del cuerpo y reciben una serie de preguntas relacionadas con esa región; las preguntas son parte de un conjunto predefinido.

En resumen, la aplicación funciona como un asistente médico virtual que ayuda a los usuarios a explorar posibles diagnósticos a través de interacciones de chat.

Cirugía laparoscópica asistida por robot (Da Vinci®)

La cirugía laparoscópica asistida por el robot Da Vinci ha transformado radicalmente la práctica quirúrgica desde su aparición a finales de la década de 1990. Esta innovación ha supuesto un cambio de paradigma en la cirugía mínimamente invasiva al ofrecer a los cirujanos un nivel de precisión y control sin precedentes. Desarrollado por Intuitive Surgical a principios de los años 2000, el sistema Da Vinci se ha convertido en el estándar de oro en cirugía robótica, siendo utilizado en una amplia variedad de procedimientos quirúrgicos que abarcan desde la urología hasta la cirugía cardiovascular.

El sistema Da Vinci consta de un sofisticado conjunto de instrumentos quirúrgicos controlados por un cirujano desde una consola ubicada a cierta distancia del paciente. Esta consola le proporciona una visualización en 3D de alta definición del sitio quirúrgico, lo que permite una visión detallada y precisa. Los instrumentos, miniaturizados y articulados, son capaces de replicar los movimientos de la mano del cirujano con una precisión excepcional, lo que facilita la realización de procedimientos complejos de manera menos invasiva.

Una de las características más destacadas del sistema Da Vinci es su capacidad para integrar la IA en el proceso quirúrgico. A través de algoritmos avanzados, el sistema puede analizar en tiempo real la información visual y táctil capturada por los instrumentos, proporcionando asistencia al cirujano para tomar decisiones precisas durante la operación. Esta capacidad de aprendizaje y adaptación continua mejora con el tiempo, permitiendo al sistema Da Vinci realizar tareas cada vez más complejas con un alto grado de eficacia y seguridad¹⁶.

Características precisas de la cirugía con el sistema Da Vinci:

- Mayor precisión en la incisión y manipulación de tejidos.
- Menor pérdida de sangre durante la cirugía.
- Incisiones más pequeñas y cicatrices menos visibles.
- Menor riesgo de infección y complicaciones posquirúrgicas.
- Tiempo de recuperación más corto para el paciente.

En cuanto al posquirúrgico, el sistema Da Vinci ha demostrado reducir significativamente la estancia hospitalaria y acelerar la recuperación del paciente. Los pacientes sometidos a cirugía con el sistema Da Vinci experimentan menos dolor posoperatorio y pueden retomar sus actividades normales en menos tiempo en comparación con la cirugía tradicional.

Estadísticas relevantes

Según datos de Intuitive Surgical, se han realizado más de 8 millones de procedimientos quirúrgicos con el sistema Da Vinci en todo el mundo.

Varios estudios han demostrado que el sistema Da Vinci reduce en un promedio del 40% el tiempo de hospitalización en comparación con la cirugía convencional.

Un metanálisis publicado en el Journal of the American Medical Association (JAMA) encontró que la cirugía asistida por robot con el sistema Da Vinci se asoció con menores tasas de complicaciones posquirúrgicas y reintervenciones en comparación con la cirugía laparoscópica tradicional.

En conclusión, el sistema Da Vinci representa un avance revolucionario en la cirugía moderna al combinar tecnología robótica de vanguardia con la experiencia y las habilidades del cirujano humano. Su integración de la IA abre nuevas posibilidades en el tratamiento quirúrgico, prometiendo un futuro donde la cirugía sea aún más precisa, segura y accesible para todos. Esta innovación continuará mejorando la atención al paciente en todo el mundo y allanando el camino hacia una medicina más avanzada y eficaz¹⁶.

Ventajas y desventajas de la cirugía asistida por Inteligencia Artificial y robótica

La integración de la IA y la robótica en la práctica quirúrgica representa un avance significativo en la medicina moderna, prometiendo transformar radicalmente la atención al paciente. Esta convergencia tecnológica no solo personaliza el tratamiento, sino también eleva la precisión quirúrgica y optimiza la recuperación, marcando una verdadera revolución en las prácticas quirúrgicas³.

El análisis de *Big data* emerge como un pilar crucial en la toma de decisiones quirúrgicas, ofreciendo tratamientos personalizados mediante el análisis de patrones complejos dentro de extensos conjuntos de datos de pacientes. Esta capacidad para adaptar las intervenciones a las características únicas de cada individuo mejora considerablemente los resultados quirúrgicos y reduce los riesgos asociados¹⁷.

Por otro lado, el PLN agiliza el acceso a información médica crucial y el análisis de historiales de pacientes, permitiendo decisiones rápidas y fundamentadas. Automatizando la recopilación y el análisis de datos, el PLN incrementa la eficacia operativa, lo que deriva en una preparación preoperatoria más completa y un seguimiento posoperatorio optimizado¹⁷.

Las RNA y el ML son claves para un diagnóstico más certero y una planificación quirúrgica detallada, identificando patrones en los datos médicos que podrían ser imperceptibles a simple vista. Estas tecnologías permiten prever posibles complicaciones, personalizar planes quirúrgicos y ajustar estrategias de tratamiento en tiempo real para maximizar la eficiencia y minimizar los riesgos.

El DL ha demostrado ser excepcionalmente eficaz en la interpretación de imágenes médicas, identificando patologías con una precisión superior. Esta capacidad es invaluable para la detección temprana de enfermedades y la evaluación precisa del tejido afectado, facilitando intervenciones quirúrgicas más precisas y menos invasivas^{18,19}.

La visión por computadora desempeña un papel crucial en la cirugía asistida por robots, como el sistema Da Vinci, ofreciendo a los cirujanos visualizaciones tridimensionales detalladas del área de intervención. Esto mejora la percepción de la profundidad y la manipulación precisa de los instrumentos quirúrgicos, reduciendo el traumatismo en los tejidos y favoreciendo mejores resultados para el paciente²⁰.

El sistema robótico Da Vinci, a la vanguardia de la cirugía asistida por IA, ejemplifica la integración de estas avanzadas tecnologías, permitiendo realizar procedimientos complejos con una precisión, flexibilidad y control sin precedentes. La capacidad de efectuar cirugías a través de incisiones mínimas ofrece ventajas significativas como tiempos de recuperación más cortos, menos dolor posoperatorio y un menor riesgo de infecciones, brindando a los pacientes una opción de tratamiento menos invasiva y con resultados clínicamente superiores^{20,21}.

Sin embargo, a pesar de los numerosos beneficios de la cirugía asistida por IA y robótica, también existen desafíos importantes que deben abordarse.

El principal obstáculo es el alto costo asociado con la adquisición, mantenimiento y operación del equipo. Aunque la cirugía asistida por robot ha estado disponible durante más de dos décadas, el costo sigue siendo sustancialmente más alto en comparación con otras formas de intervención quirúrgica, como la laparoscopia convencional. Además del costo inicial del

sistema, que puede oscilar entre 1,5 y 2 millones de dólares, existen gastos adicionales relacionados con el servicio, mantenimiento y formación del personal, lo que puede limitar su disponibilidad en ciertos entornos¹⁶.

Además, existen desafíos relacionados con la adopción generalizada de la cirugía asistida por robot, incluidas barreras financieras y la necesidad de más evidencia científica en ciertas subespecialidades quirúrgicas. Sin embargo, a medida que la tecnología continúa evolucionando y se acumula más experiencia clínica, se espera que estos obstáculos se superen gradualmente, allanando el camino para futuros avances y mejoras en la atención al paciente¹⁶.

En resumen, la cirugía asistida por IA y robótica ofrece numerosas ventajas, desde una precisión quirúrgica mejorada hasta tiempos de recuperación más cortos, pero también presenta desafíos significativos en términos de costo y adopción generalizada. A medida que la tecnología avanza y se abordan estos desafíos, se espera que continúe transformando positivamente la práctica quirúrgica y mejorando los resultados para los pacientes^{3,17-19, 20, 21}.

Conclusión

La integración de la IA y la robótica en el campo de la cirugía representa un hito trascendental en la evolución de la medicina moderna. A lo largo de este análisis exhaustivo hemos explorado cómo estas tecnologías avanzadas están revolucionando la práctica quirúrgica, desde la planificación preoperatoria hasta el seguimiento posoperatorio, pasando por el propio acto quirúrgico.

La cirugía asistida por robots, como el sistema Da Vinci, ha demostrado ser un avance paradigmático al ofrecer a los cirujanos un nivel de precisión y control sin precedentes. Con características que incluyen una visualización tridimensional detallada del sitio quirúrgico, instrumentos miniaturizados y articulados, y capacidad para integrar inteligencia artificial en tiempo real, el sistema Da Vinci ha redefinido los estándares de la cirugía mínimamente invasiva. Sus beneficios son innegables: mayor precisión en la incisión y manipulación de tejidos, menor pérdida de sangre, incisiones más pequeñas, cicatrices menos visibles, menor riesgo de infección y complicaciones posquirúrgicas, y tiempos de recuperación más cortos para el paciente.

Por otro lado, la aplicación de la IA en la cirugía va más allá de los robots quirúrgicos. Los *chatbots*, alimentados por grandes modelos de lenguaje y técnicas de aprendizaje automático, están transformando la manera en que los pacientes interactúan con la información médica, brindando apoyo en el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de enfermedades. La capacidad de los *chatbots* para comprender el lenguaje natural y proporcionar respuestas contextuales precisas está allanando el camino hacia una atención médica más personalizada y accesible.

Además, el análisis de *Big data*, el procesamiento del lenguaje natural, las redes neuronales y el aprendizaje profundo están optimizando la toma de decisiones quirúrgicas, permitiendo tratamientos personalizados, diagnósticos más certeros y planificaciones quirúrgicas detalladas. Estas tecnologías avanzadas ofrecen una visión más profunda de los datos médicos, identificando patrones y tendencias que pueden pasar inadvertidos para el ojo humano.

Sin embargo, no podemos pasar por alto los desafíos que enfrenta la adopción generalizada de estas tecnologías. El alto costo asociado con la adquisición, mantenimiento y operación de equipos de cirugía

asistida por robot sigue siendo una barrera significativa en muchos entornos médicos. Además, se requiere más evidencia científica para respaldar el uso de estas tecnologías en todas las subespecialidades quirúrgicas.

En resumen, la convergencia de la IA y la robótica en la cirugía promete un futuro emocionante y lleno de posibilidades. A medida que continuamos explorando los límites de la tecnología y superando los desafíos existentes, podemos anticipar una atención médica más precisa, segura y accesible para todos. Esta revolución en la práctica quirúrgica no solo mejora los resultados para los pacientes, sino también redefine el papel del cirujano en la era digital.

Referencias bibliográficas

- Stephens LD, Jacobs JW, Adkins BD, Booth GS. Battle of the (chat) bots: Comparing large language models to practice guidelines for transfusion-associated graft-versus-host disease prevention. *Transfus Med Rev* [Internet].
- Willems SM, Abeln S, Feenstra KA, de Bree R, van der Poel EF, Baatenburg de Jong RJ, et al. The potential use of big data in oncology. *Oral Oncol* [Internet]. 2019; 98:8-12. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oraloncology.2019.09.003>.
- Lareyre F, Nasr B, Chaudhuri A, Di Lorenzo G, Carlier M, Raffort J. Comprehensive review of natural language processing (NLP) in vascular surgery. *EJVES Vasc Forum* [Internet]. 2023 [citado el 20 de marzo de 2024]; 60:57-63. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvsf.2023.09.002>.
- White BK, Martin A, White JA. User experience of COVID-19 chatbots: Scoping review. *J Med Internet Res* [Internet]. 2022 [citado el 20 de marzo de 2024];24(12):e35903. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2196/35903>.
- Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial intelligence in surgery: Promises and perils. *Ann Surg* [Internet]. 2018 [citado el 20 de marzo de 2024];268(1):70-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/sla.0000000000002693>.
- Lareyre F, Nasr B, Chaudhuri A, Di Lorenzo G, Carlier M, Raffort J. Comprehensive review of natural language processing (NLP) in vascular surgery. *EJVES Vasc Forum* [Internet]. 2023 [citado el 20 de marzo de 2024];60:57-63. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvsf.2023.09.002>.
- Mogliola A, Georgiou K, Georgiou E, Satava RM, Cuschieri A. A systematic review on artificial intelligence in robot-assisted surgery. *Int J Surg* [Internet]. 2021 [citado el 20 de marzo de 2024];95:106151. Disponible en: https://journals.lww.com/international-journal-of-surgery/fulltext/2021/11000/a_systematic_review_on_artificial_intelligence_in.33.aspx.
- Kulikowski CA. Beginnings of artificial intelligence in medicine (AIM): Computational artifice assisting scientific inquiry and clinical art – with reflections on present AIM challenges. *Yearb Med Inform* [Internet]. 2019 [citado el 20 de marzo de 2024];28(01):249-56. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0039-1677895>.
- Stanfill MH, Marc DT. Health information management: Implications of artificial intelligence on healthcare data and information management. *Yearb Med Inform* [Internet]. 2019 [citado el 20 de marzo de 2024];28(01):056-64. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0039-1677913>.
- Watanabe G, Ishikawa N. da Vinci surgical system. *Kyobu Geka* [Internet]. 2014 [citado el 20 de marzo de 2024];67(8). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25138939/>
- LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature* [Internet]. 2015;521(7553):436-44. Disponible en: <https://hal.science/hal-04206682/document>.
- Liu J, Wang C, Liu S. Utility of ChatGPT in clinical practice. *J Med Internet Res* [Internet]. 2023 [citado el 20 de marzo de 2024];25:e48568. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2196/48568>.
- Kavian JA, Wilkey HL, Patel PA, Boyd CJ. Harvesting the power of artificial intelligence for surgery: Uses, implications, and ethical considerations. *Am Surg* [Internet]. 2023;89(12):5102-4. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/00031348231175454>.
- de Margerie-Mellon C, Chassagnon G. Artificial intelligence: A critical review of applications for lung nodule and lung cancer. *Diagn Interv Imaging* [Internet]. 2023;104(1):11-7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.diii.2022.11.007>.
- Kriegeskorte N, Golan T. Neural network models and deep learning. *Curr Biol* [Internet]. 2019;29(7):R231-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2019.02.034>.
- Rivero-Moreno Y, Echevarría S, Vidal-Valderrama C, Stefano-Pianetti L, Cordova-Guilarte J, Navarro-González J, et al. Robotic surgery: A comprehensive review of the literature and current trends. *Cureus* [Internet]. 2023 [citado el 20 de marzo de 2024];15(7). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.7759/cureus.42370>.
- Sun Z, Yang K, Zhang Y. *Big Data Analytics for Precision Medicine*. Springer International Publishing; 2022. Este libro ofrece una visión general de cómo se puede aplicar el análisis de big data en el campo de la medicina de precisión, incluida la cirugía.
- Báez P, Arancibia AP, Chaparro MI, Bucarey T, Núñez F, Duns-tan J. Procesamiento de lenguaje natural para texto clínico en español: el caso de las listas de espera en Chile. *Revista Médica Clínica Las Condes* [Internet]. 2022 [citado el 20 de marzo de 2024];33(6):576-82. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmclc.2022.10.002>.
- naoep.mx. [citado el 20 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://ccc.inaoep.mx/~pgomez/cursos/IC-I/acetatos/Profundo.pdf>.
- Zhou SK, Greenspan H, Davatzikos C, Duncan JS, Van Ginneken B, Madabhushi A, et al. A review of deep learning in medical imaging: Imaging traits, technology trends, case studies with progress highlights, and future promises. *Proc IEEE Inst Electr Electron Eng* [Internet]. 2021 [citado el 21 de marzo de 2024];109(5):820-38. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1109/jproc.2021.3054390>.
- Martínez-Salamanca JI, Hernández C. Cirugía robótica: una mirada hacia el futuro. *Arch Esp Urol* [Internet]. 2007 [citado el 21 de marzo de 2024];60(4):489-91. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06142007000400019.



Asociación Argentina de Cirugía

Marcelo T. de Alvear 2415 - CP1122 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

Tel: +[54] (11) 4822-6489/ 2905/ 4825-3649

E-mail: comisiondecirugiabariatrica@aac.org.ar | Sitio web: www.aac.org.ar