



Dimensiones éticas asociadas al empleo de algoritmos de aprendizaje automático en cirugía

Ethical dimensions associated with the use of machine learning algorithms in surgery

Yoservis López Linares^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-4815-0577>

René Santiago Borges Sandrino¹ <https://orcid.org/0000-0002-4658-1475>

Enia Ramón Musibay¹ <https://orcid.org/0000-0003-1170-3441>

¹ Hospital Militar Central “Dr. Luis días Soto”. La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: yoservislopez@gmail.com

RESUMEN

Introducción: El proceso de toma de decisiones de los cirujanos en la práctica contemporánea ha cambiado con la incorporación de tecnologías avanzadas, como los algoritmos de aprendizaje automático. Estos permiten predecir resultados quirúrgicos mediante el análisis de grandes volúmenes de datos y contribuir a la reducción de riesgos. Sin embargo, su

utilización plantea desafíos éticos que requieren un análisis minucioso.

Objetivo: Realizar un análisis crítico de las dimensiones éticas y morales asociadas a la implementación de los algoritmos de aprendizaje automático en la práctica quirúrgica contemporánea.

Métodos: Se realizó una revisión de fuentes originales, artículos de revisión y revisiones

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>
revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





sistemáticas publicadas durante los últimos cinco años en PubMed, Scopus y SciELO. Se incluyeron estudios sobre la integración del aprendizaje automático en la toma de decisiones médicas, especialmente quirúrgicas, y aquellos relacionados con los aspectos éticos de su aplicación. También se consultaron Google Scholar y Semantic Scholar.

Desarrollo: La incorporación del aprendizaje automático en cirugía ofrece beneficios para predecir complicaciones y apoyar la toma de decisiones, pero plantea desafíos relacionados con la autonomía, transparencia, privacidad, no maleficencia,

beneficencia y justicia. Se identificaron riesgos vinculados con la opacidad algorítmica, los sesgos, la dependencia tecnológica, la desigualdad en el acceso y la responsabilidad ante errores. Su implementación requiere validación de los sistemas, supervisión humana, protección de datos y mecanismos de gobernanza multidisciplinaria.

Conclusiones: Los principios de la ética médica proporcionan un marco conceptual robusto para implementar estas tecnologías.

Palabras clave: aprendizaje automático; ética en cirugía; inteligencia artificial.

ABSTRACT

Introduction: The decision-making process of surgeons in contemporary practice has changed with the incorporation of advanced technologies, such as machine learning algorithms. These technologies can predict surgical outcomes through the analysis of large volumes of data and contribute to risk <http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>
revinmedquir@infomed.sld.cu

reduction. However, their use poses ethical challenges that require careful analysis.

Objective: To conduct a critical analysis of the ethical and moral dimensions associated with the implementation of machine learning algorithms in contemporary surgical practice.

Bajo licencia Creative Commons





Methods: A review of original research articles, review articles, and systematic reviews published during the last five years was conducted using PubMed, Scopus, and SciELO. Studies addressing the integration of machine learning into medical decision-making, particularly in surgery, as well as those addressing the ethical aspects of its application, were included. Google Scholar and Semantic Scholar were also consulted.

Development: The incorporation of machine learning into surgery offers benefits in predicting complications and supporting decision-making, but poses challenges related to autonomy, transparency, privacy,

non-maleficence, beneficence, and justice. Risks associated with algorithmic opacity, bias, technological dependence, unequal access, and accountability for errors were identified. Its implementation requires system validation, human oversight, data protection, and multidisciplinary governance mechanisms.

Conclusions: The principles of medical ethics provide a robust conceptual framework for implementing these technologies.

Keywords: machine learning; ethics in surgery; artificial intelligence.

Recibido: 28/03/2026

Aceptado: 22/08/2026

INTRODUCCIÓN

El surgimiento de la transformación digital en el sector de la salud ha remodelado radicalmente las prácticas médicas modernas. Las innovaciones en inteligencia artificial (IA),⁽¹⁾ realidad virtual,^(2,3) tecnologías avanzadas de obtención de imágenes⁽⁴⁾ y sistemas robóticos^(5,6) representan

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





el resultado de una amplia investigación interdisciplinaria. En estas las necesidades sociales impulsan el progreso científico y tecnológico para crear un ciclo continuo de innovación y desarrollo, especialmente en ámbitos complejos como los procedimientos quirúrgicos.

Esta transformación es notable debido a la integración de tecnologías innovadoras, como son los algoritmos de aprendizaje automático (AA).⁽⁷⁾ Este subcampo de la IA tiene sus orígenes en la década de 1940, cuando Alan Turing estableció los conceptos fundamentales de la informática; seguido de la introducción del término por Arthur Samuel, en 1959, como representación de la capacidad de las máquinas para aprender de forma autónoma mediante el análisis de grandes conjuntos de datos, y la mejora de su rendimiento a través de la experiencia, sin necesidad de una programación explícita por parte de los humanos.⁽⁸⁾ En consecuencia es posible identificar patrones capaces de predecir resultados de procedimientos quirúrgicos, fundamental para mejorar el proceso de toma de decisiones por los cirujanos, optimizar las intervenciones y adaptarlas a cada paciente para reducir sus riesgos.^(9,10,11)

Estos modelos superan en algunos aspectos a las técnicas estadísticas tradicionales al integrar variables demográficas, antecedentes clínicos y parámetros fisiológicos para generar predicciones particularizadas, pues, los modelos estadísticos clásicos permiten inferir asociación, pero se les dificulta demostrar causa - efecto cuando manejan grandes volúmenes de datos.⁽¹²⁾ La creciente dependencia de estas tecnologías también plantea consideraciones éticas que desafían las prácticas médicas habituales y requieren un examen cuidadoso de las implicaciones para la atención de los pacientes. Las dimensiones éticas claves asociadas con el AA en la cirugía incluyen cuestiones de autonomía, tanto de los enfermos como de los cirujanos, privacidad de los datos, responsabilidad, equidad y transparencia algorítmica.⁽¹³⁻¹⁶⁾

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/imq>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





Esta relación entre tecnología y ética ha provocado debates continuos sobre la necesidad de marcos normativos y una gobernanza colaborativa para garantizar que los algoritmos de AA se apliquen de forma responsable en la práctica quirúrgica.^(15,17,18) Este trabajo pretende realizar un análisis crítico de las dimensiones éticas y morales asociadas a la implementación de algoritmos de AA en la práctica quirúrgicas contemporánea, sobre la base de los cuatro principios de la ética médica.

MÉTODOS

Se diseñó una búsqueda de información a partir de fuentes electrónicas de internet. Se priorizaron los estudios relacionados con la temática de interés publicados en los últimos cinco años en revistas científicas de alto impacto. Se consultaron principalmente artículos originales, revisiones sistemáticas y metaanálisis de las bases de datos PubMed, Scopus y SciELO, además se utilizaron los buscadores Google Scholar y Semantic Scholar, este último con IA integrada que facilitó la interacción con los trabajos. Se utilizaron descriptores de ciencias de la salud como “aprendizaje automático”, “ética en cirugía”, “ética en aprendizaje automático”, “inteligencia artificial” y “predicción con aprendizaje automático”.

Para seleccionar las fuentes relevantes se establecieron criterios como: artículos a texto completo, de revistas científicas revisados por pares, idioma español e inglés, con áreas temáticas relacionadas con la IA, la bioética y modelos predictivos en medicina, sobre todo en el área quirúrgica. Se incluyeron artículos cuya metodología implicó la evaluación de la integración de los algoritmos de AA a la toma de decisiones médicas, sobre todo los que mencionaban la implementación de modelos predictivos para la morbilidad y mortalidad en pacientes con enfermedades quirúrgicas, así como aquellos que abordaron los aspectos éticos de su uso.

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





Se excluyeron estudios que desarrollaron la temática de AA desde la perspectiva matemática, además de los que expusieron los principios éticos no relacionados a la medicina ni al uso de estas tecnologías en cirugía.

DESARROLLO

La integración del aprendizaje automático en la práctica quirúrgica contemporánea genera múltiples ventajas y desafíos éticos complejos que requieren una reflexión profunda y sistemática desde la perspectiva de los principios de la ética médica.

La transformación que experimenta la educación y la práctica quirúrgica mediante el empleo de simuladores con IA integrada ha revolucionado la adquisición de habilidades técnicas al reducir la subjetividad de algunas metodologías tradicionales.^(19,20) Sin embargo, esta revolución tecnológica conlleva tensiones significativas entre los intereses comerciales y la preservación de la dignidad humana en el contexto quirúrgico. Los principios fundamentales de la bioética —no maleficencia, beneficencia, autonomía y justicia— se ponen en riesgo debido a la complejidad del funcionamiento de estos modelos y a la opacidad de los sistemas de «caja negra». A ello se suman la distribución inequitativa del acceso a estas tecnologías, el sesgo algorítmico en poblaciones subrepresentadas y la dificultad para establecer la responsabilidad legal ante posibles errores de la IA..^(21,22)

Por lo tanto, es evidente la urgente necesidad de formular marcos éticos robustos que guíen la implementación y uso responsable de la IA en cirugía, para asegurar que el progreso tecnológico contribuya al bienestar de la sociedad y preserve los valores fundamentales de la práctica médica.

La cirugía como práctica moral tradicional

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





La cirugía es históricamente reconocida como una práctica fundamentalmente moral que requiere que todo cirujano posea valores y principios para guiar sus acciones profesionales.⁽²³⁾ Esta disciplina médica presenta características únicas que la distinguen de otras especialidades: daña antes de curar, es invasiva y penetra el cuerpo del paciente, requiere toma de decisiones en circunstancias de incertidumbre, y está sujeta a errores, riesgos, accidentes, complicaciones y secuelas.⁽²³⁾ Estas particularidades inherentes a la práctica quirúrgica se ven ahora amplificadas y complejizadas por la introducción de sistemas de AA que funcionan con diferentes grados de autonomía.⁽²⁴⁾

La relación cirujano-paciente, tradicionalmente basada en la confianza, enfrenta nuevos desafíos cuando se interponen estos algoritmos entre la experiencia clínica del médico y la toma de decisiones quirúrgicas.⁽²³⁾ El concepto del médico cirujano, como agente fiduciario del paciente, definido como aquella persona de confianza a quien se encomiendan bienes importantes, en este caso la vida, y quien ejerce su autoridad y ofrece prioridad al beneficio del paciente, debe ser reexaminado en el contexto de sistemas algorítmicos que pueden influir o determinar decisiones clínicas. Por lo tanto, al introducir progresivamente transformaciones en el vínculo terapéutico, surgen interrogantes sobre cómo mantener la superioridad del juicio clínico humano y la responsabilidad ética personal en un entorno cada vez más automatizado.

El aprendizaje automático en la cirugía contemporánea

La incorporación del AA en la cirugía ha revolucionado diversos aspectos como la predicción de complicaciones y la mejora de toma de decisiones intraoperatorias, elementos que se le dificulta a la estadística tradicional cuando se procesan muestras muy amplias.

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





Desde el punto de vista práctico, el análisis combinado de datos perioperatorios, como la demografía del paciente, el historial médico, los estudios de imagen y elementos propios de la cirugía, permite predecir riesgos potenciales. Entre estos se incluyen las infecciones, las hemorragias e incluso la mortalidad. Entre los elementos quirúrgicos considerados pueden encontrarse el tiempo operatorio y el tipo de procedimiento realizado.

Además, en asociación con sistemas robóticos sofisticados capaces de asistir a los cirujanos en procedimientos de alta complejidad, como la cirugía torácica, estos algoritmos pueden favorecer intervenciones oportunas, precisas y eficaces, con potencial para optimizar la atención del paciente..^(10,11,25) La capacidad de estos sistemas para procesar grandes volúmenes de datos de manera instantánea y generar predicciones basadas en patrones complejos ha demostrado ser especialmente valiosa en especialidades como la neurocirugía y la cirugía cardiotorácica, donde la precisión milimétrica puede determinar la diferencia entre el éxito y el fracaso terapéutico.⁽²⁶⁾

Los algoritmos de AA permiten que los sistemas robóticos quirúrgicos tomen decisiones adaptadas en tiempo real, ajustando automáticamente su fuerza, posición y velocidad en respuesta a condiciones imprevistas durante el procedimiento.⁽²⁶⁾ Esta capacidad de adaptación se fundamenta en el análisis continuo de parámetros fisiológicos, características de los tejidos y respuestas dinámicas del paciente, permitiendo que el sistema modifique su comportamiento cuando detecta inflamación, variaciones en la densidad tisular o reacciones inesperadas durante la intervención. El aprendizaje por refuerzo, uno de los tipos de AA, es el principal agente en la toma de decisiones adaptativas, este analiza patrones de procedimientos anteriores, aprende de errores y optimiza su desempeño para minimizar riesgos futuros. Sin embargo, no existe un único algoritmo, sino más bien un ecosistema de técnicas que trabajan en conjunto para permitir la adaptación en tiempo real.^(1,26,27)

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





Autonomía y transparencia algorítmica

La autonomía del paciente se reconoce como la capacidad para deliberar sobre sus decisiones de salud y actuar conforme a sus valores y preferencias personales, manifestándose con el consentimiento informado y el respeto por sus decisiones, incluso cuando estas puedan parecer contrarias a su bienestar médico.⁽²⁸⁾

En el contexto de los algoritmos predictivos de complicaciones, este principio se enfrenta a dilemas adicionales, particularmente en lo que respecta a la transparencia de los procesos de toma de decisiones. Cuando un modelo sugiere contraindicaciones quirúrgicas basadas en patrones ocultos, ejemplo: correlación entre el tamaño tumoral y riesgo de conversión en cirugía torácica video asistida, los cirujanos enfrentan el reto de traducir estas predicciones a un lenguaje comprensible sin comprometer la integridad científica.⁽¹³⁾

Los algoritmos de AA, en especial aquellos basados en redes neuronales profundas, operan frecuentemente como "cajas negras", es decir, se conocen los datos de entrada, como las edades y las comorbilidades de los pacientes y se puede ver su salida cuando nos expresan el riesgo de complicarse o no, pero el proceso interno de razonamiento, el conjunto de reglas, que a menudo son millones de parámetros matemáticos, que transforman la entrada en la salida resulta opaco tanto para los cirujanos como para los pacientes.^(15,29) Esta opacidad genera tensiones, ya que el consentimiento informado debe ser específico, requiere que el paciente comprenda no solo los riesgos y beneficios del procedimiento, sino también como se utilizará su información y el grado de participación de sistemas automatizados en las decisiones que afectarán su tratamiento.⁽¹⁴⁾

Esta problemática se intensifica cuando consideramos que muchos pacientes pueden experimentar ansiedad o desconfianza hacia estos sistemas, tanto por el nivel de sofisticación

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





técnica de los algoritmos como por la capacidad de comprensión de los mismos, prefiriendo la intervención humana directa incluso cuando los datos sugieren que la asistencia algorítmica podría mejorar sus resultados.⁽²⁹⁾ Un estudio de 2024 demostró que el 71 % de los pacientes se sintieron adecuadamente informados cuando se utilizó ChatGPT-4 para explicar riesgos quirúrgicos, aunque el 63 % expresó preocupación por la ausencia de interacción humana durante el proceso.⁽³⁰⁾ Esto sugiere que, aunque el AA mejora la accesibilidad de la información, no sustituye la relación médico – paciente.

Además, el secreto profesional adquiere nuevas dimensiones cuando los datos del paciente son procesados por sistemas de IA que pueden almacenar, analizar y potencialmente compartir información con otros sistemas o instituciones. Proteger los datos de los pacientes de las filtraciones es fundamental, ya que el acceso no autorizado puede tener graves consecuencias para las personas, como el robo de identidad y la pérdida de confianza en los sistemas de salud.^(28,31)

Arjomandi A⁽¹⁴⁾ destaca la importancia de cumplir con regulaciones como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) y el desarrollo de marcos seguros para el intercambio de datos, para así proteger la confidencialidad y fomentar la colaboración internacional.

La IA puede respaldar la toma de decisiones quirúrgicas, pero existe el riesgo de que los cirujanos pierdan autonomía y juicio clínico, sobre todo si se genera una dependencia excesiva de las recomendaciones tecnológicas. Algunos investigadores señalan que la toma de decisiones médicas tradicionalmente incorpora elementos humanos como emociones, experiencias y valores, algo que la IA no puede replicar. Por lo tanto, es fundamental que su uso no reemplace el juicio del médico, sino que lo complemente, manteniendo la última responsabilidad en manos del cirujano.⁽¹⁴⁾

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





La transición hacia mayor autonomía algorítmica en cirugía implica también una redefinición de las capacidades profesionales requeridas. Los cirujanos deben desarrollar no solo competencia técnica tradicional, sino también comprensión profunda de los sistemas de AA, sus limitaciones y sus implicaciones éticas.⁽²⁰⁾

Por tanto, la implementación ética del AA en cirugía requiere el desarrollo de sistemas explicables, que permitan a los profesionales médicos comprender las bases de las recomendaciones algorítmicas. En la práctica clínica, esto se traduce en la necesidad de interfaces que proporcionen información clara sobre los factores que influyen en las predicciones algorítmicas, las limitaciones del sistema y los rangos de confianza de las proposiciones. Un ejemplo práctico es el desarrollo de sistemas de apoyo a la decisión quirúrgica que no solo recomienden, sino que también expliquen los criterios clínicos, los datos de pacientes y los patrones identificados que sustentan cada recomendación específica.

No maleficencia y riesgos algorítmicos

El principio de no maleficencia, que se expresa tradicionalmente en la máxima latina *primum non nocere* (primero no dañar), constituye el fundamento ético más básico y exige que cualquier intervención quirúrgica sea diseñada para evitar daños directos o indirectos al paciente y a su vez debe ser reexaminado en el contexto de los riesgos específicos asociados con los sistemas de AA en cirugía.⁽²⁸⁾

La aplicación de este principio en el contexto quirúrgico presenta desafíos únicos, considerando que la cirugía inherentemente "daña antes de curar" y que los sistemas de AA pueden introducir nuevos tipos de riesgos y errores. Estos riesgos incluyen fallas técnicas imprevistas, sesgos algorítmicos incorporados durante el entrenamiento de los sistemas, y la posibilidad de

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>
revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





sobredependencia tecnológica que podría comprometer las habilidades clínicas tradicionales de los cirujanos.^(21,32) Esto puede verse reflejado en sistemas como los robots quirúrgicos autónomos, que logran anastomosis intestinales con 94 % de precisión superior a cirujanos humanos.⁽¹⁴⁾ No obstante, la no maleficencia exige abordar riesgos específicos como los sesgos algorítmicos.

Los algoritmos de AA son dependientes de la calidad y representatividad de los datos utilizados durante su entrenamiento. Si estos datos reflejan disparidades en la atención médica o subrepresentan ciertos grupos poblacionales, el sistema puede generar recomendaciones que de forma inadvertida discriminen contra pacientes de minorías étnicas, mujeres, personas de edad avanzada, o individuos con condiciones socioeconómicas desfavorables.⁽³²⁻³⁴⁾ Esta situación plantea una violación potencial del principio de no maleficencia, ya que el daño causado no es intencional, pero resulta de decisiones sistémicas sobre el diseño y entrenamiento de los algoritmos.

Para asegurar la no maleficencia, es esencial garantizar que los datos utilizados sean representativos, y que se implementen medidas para identificar y corregir sesgos en los sistemas.⁽¹⁴⁾ Además, los desarrolladores y usuarios de esta tecnología deben considerar la calidad y precisión de los algoritmos utilizados para prevenir errores que puedan conducir a diagnósticos incorrectos o decisiones terapéuticas inadecuadas.⁽²²⁾ En la práctica, esto se traduce en la necesidad de validación rigurosa de modelos antes de su implementación clínica y evaluar su desempeño en diferentes poblaciones y escenarios quirúrgicos. La calibración dinámica mediante aprendizaje federado emerge también como solución técnica y ética, al permitir actualizar modelos sin compartir datos sensibles.⁽³⁵⁾

La dependencia excesiva en sistemas automatizados también presenta riesgos para la competencia clínica a largo plazo. Cuando los cirujanos se habitúan a confiar en <http://revcimeq.sld.cu/index.php/img> revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





recomendaciones algorítmicas para decisiones críticas, existe el peligro de que sus habilidades de juicio clínico independiente se atrofien, creando vulnerabilidad en situaciones donde la tecnología falla o no está disponible.⁽²¹⁾ Este fenómeno, conocido como "*deskilling*" o pérdida de habilidades, representa una forma sutil pero significativa de daño potencial que debe ser considerado en la evaluación ética de estas tecnologías.

Beneficencia y optimización de resultados

Este principio, estrechamente relacionado con el anterior, establece la obligación moral de actuar en beneficio del paciente, promover su bienestar y buscar la curación o mejora de su condición de salud.⁽³⁶⁾ En el contexto quirúrgico, se materializa en la evaluación cuidadosa del riesgo-beneficio, donde el cirujano debe considerar tanto los buenos resultados terapéuticos como los potenciales efectos negativos inherentes a cualquier procedimiento invasivo. Sin embargo, en la aplicación del AA se centra en maximizar los beneficios mientras se minimizan los riesgos asociados con estas tecnologías emergentes.⁽¹²⁾

Los sistemas de IA han demostrado capacidades superiores para optimizar resultados técnicos específicos, como la precisión de cortes quirúrgicos, la disminución del tiempo operatorio, y por lo tanto la reducción de complicaciones. No obstante, la beneficencia genuina en medicina trasciende los parámetros técnicos para abarcar dimensiones más amplias del bienestar humano, incluyendo aspectos psicológicos, sociales y existenciales de la experiencia del paciente.

Un ejemplo concreto de esta tensión se observa en procedimientos neuroquirúrgicos donde los sistemas de IA pueden identificar y preservar tejido neuronal crítico con una precisión superior a la capacidad humana, reduciendo objetivamente el riesgo de déficits neurológicos postoperatorios.⁽²⁶⁾ Sin embargo, algunos pacientes pueden experimentar ansiedad significativa o

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>
revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





sentimientos de deshumanización al saber que aspectos cruciales de su cirugía cerebral fueron determinados por una máquina en lugar de por el juicio médico. La pregunta ética fundamental es si la beneficencia justifica la imposición de un tratamiento que el paciente puede percibir como menos humano o menos personalizado, aunque mejore sus resultados.

Además, la optimización algorítmica típicamente se enfoca en métricas cuantificables y objetivos predefinidos, lo que puede llevar a una visión más reducida del bienestar del paciente. Los algoritmos pueden optimizar la reducción del tiempo quirúrgico, disminuir la pérdida sanguínea, o maximizar precisión técnica, pero pueden no capturar completamente valores más subjetivos como la dignidad del paciente, sus preferencias estéticas, o consideraciones culturales específicas que podrían influir en la percepción de un resultado más o menos beneficioso. Esta limitación plantea interrogantes sobre si la beneficencia algorítmica puede ser verdaderamente equivalente a la beneficencia humanística tradicional.⁽²⁶⁾

Justicia y acceso equitativo

La justicia exige una distribución uniforme de las cargas y los beneficios, denuncia cualquier forma de discriminación y aboga por el acceso equitativo a servicios de salud de alta calidad.^(36,37) En el ámbito de la cirugía, este principio genera dudas sobre la disponibilidad y accesibilidad de tecnologías sofisticadas, así como sobre los criterios empleados para determinar qué pacientes pueden beneficiarse de procedimientos específicos.

El despliegue de sistemas de IA en las consultas quirúrgicas genera debates sobre el acceso equitativo, especialmente en entornos con recursos limitados. Estas tecnologías sofisticadas exigen importantes inversiones en infraestructura, capacitación del personal y mantenimiento continuo. Las disparidades económicas, geográficas e institucionales pueden generar inequidades

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





en el acceso a las tecnologías quirúrgicas avanzadas, lo que podría exacerbar las desigualdades preexistentes en la atención médica y dar lugar a nuevas formas de estratificación en la calidad de la atención quirúrgica.^(21,32)

En la práctica clínica, estas inequidades se manifiestan en diferencias significativas entre instituciones quirúrgicas que pueden permitirse implementar sistemas avanzados de AA y aquellas que operan con presupuestos más limitados. Por ejemplo, hospitales de referencia en países desarrollados pueden tener acceso a sistemas de planificación quirúrgica basados en IA, simuladores de entrenamiento avanzados y plataformas de cirugía robótica, mientras que instituciones de países en vías de desarrollo o subdesarrollados como Cuba, carecen de acceso a estas tecnologías. Esta disparidad resulta en diferencias en la calidad de la atención quirúrgica, los resultados de los pacientes y las oportunidades de formación profesional.^(20,26)

La justicia distributiva también se ve complicada por la naturaleza global de los datos utilizados para entrenar sistemas de AA. Con frecuencia, estos sistemas son entrenados con datos provenientes de poblaciones específicas (típicamente de países desarrollados con sistemas de salud avanzados) pero luego son implementados en contextos donde las características demográficas, genéticas, socioeconómicas y epidemiológicas pueden ser significativamente diferentes.⁽³²⁾ Esta discrepancia puede resultar en sistemas que funcionan de manera subóptima para poblaciones no representadas en los datos de entrenamiento, creando una forma sutil pero significativa de injusticia algorítmica.

Por lo tanto, la aplicación de este principio requiere el desarrollo de estrategias específicas para democratizar el acceso a tecnologías de AA en cirugía.⁽²⁰⁾ Esto incluye intervenciones a nivel individual, institucional y gubernamental para superar las barreras que impiden el acceso equitativo a estas tecnologías. A nivel institucional, esto puede incluir programas de colaboración <http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>
revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





entre hospitales de diferentes niveles de recursos, desarrollo de versiones de bajo costo de sistemas de IA, y programas de formación que permitan a profesionales de diferentes contextos beneficiarse de estas tecnologías. Además, se requiere la colaboración entre científicos de datos, desarrolladores de aplicaciones y legisladores para garantizar que las tecnologías de AA beneficien a todos los segmentos de la sociedad.^(20,38)

Un ejemplo concreto de estrategia para promover la equidad es el desarrollo de plataformas de telemedicina quirúrgica para proporcionar apoyo en la toma de decisiones a instituciones con recursos limitados.⁽²⁰⁾ Estos sistemas pueden permitir que cirujanos en centros rurales o países en desarrollo accedan a capacidades de análisis de imagen, predicción de riesgos y planificación quirúrgica basadas en IA, reduciendo las disparidades en la calidad de atención. Además, la implementación de programas de entrenamiento virtual basados en simuladores puede democratizar el acceso a educación quirúrgica avanzada, permitiendo que profesionales de diferentes contextos geográficos y económicos mejoren sus competencias técnicas.

Responsabilidad civil y profesional

La implementación de sistemas de AA en cirugía plantea cuestiones fundamentales sobre la responsabilidad civil y profesional cuando ocurren daños relacionados con decisiones o acciones algorítmicas. El marco legal tradicional de responsabilidad médica, basado en el estándar de atención profesional y la evaluación de la conducta del médico, se ve desafiado por la introducción de sistemas automatizados que pueden tomar decisiones independientes o influir significativamente en las decisiones clínicas. La determinación de responsabilidad se complica cuando los daños resultan de errores algorítmicos, fallas de sistema, o decisiones que involucran tanto juicio humano como recomendaciones de IA.⁽³⁹⁾

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





En la práctica jurídica y clínica, estos dilemas se manifiestan en casos donde los sistemas de AA proporcionan recomendaciones quirúrgicas erróneas o cuando fallas técnicas en sistemas robóticos autónomos resultan en complicaciones quirúrgicas.⁽³⁹⁾ La responsabilidad puede distribuirse entre múltiples actores: el cirujano que utiliza el sistema, la institución que lo implementa, el desarrollador del algoritmo, y el fabricante del dispositivo. Esta distribución compleja de responsabilidad requiere el desarrollo de marcos legales y éticos específicos que clarifiquen las obligaciones y responsabilidades de cada actor en la cadena de atención quirúrgica automatizada.⁽³⁹⁾

Marcos de Gobernanza para Sistemas Quirúrgicos Inteligentes

El desarrollo de marcos efectivos de gobernanza para sistemas quirúrgicos basados en AA requiere la integración de perspectivas legales, éticas, técnicas y clínicas.⁽²¹⁾ Estos marcos deben abordar cuestiones de validación y certificación de algoritmos, estándares de desempeño y seguridad, protocolos de supervisión humana, y mecanismos de rendición de cuentas cuando ocurren errores o fallas. La gobernanza efectiva también debe incluir procesos para la evaluación continua del desempeño de sistemas de IA, la actualización de algoritmos basada en nueva evidencia, y la gestión de conflictos de interés entre consideraciones comerciales y clínicas.⁽²¹⁾

Un ejemplo específico de marco de gobernanza es el establecimiento de comités multidisciplinarios de ética e IA en instituciones quirúrgicas, que incluyan profesionales médicos, especialistas en ética, expertos en tecnología, representantes legales y defensores de pacientes.^(40,41) Estos comités pueden desarrollar políticas institucionales específicas para la implementación de sistemas de AA, establecer protocolos para la evaluación ética de nuevas tecnologías, y proporcionar orientación sobre dilemas éticos que surjan en la práctica clínica.^(21,38)

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





Además, estos marcos deben incluir mecanismos para la participación pública y la transparencia en la toma de decisiones sobre la implementación de tecnologías quirúrgicas automatizadas.

Organismos reguladores, como la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos y el Reglamento Europeo de Dispositivos Médicos, han establecido requisitos estrictos para la aprobación y la supervisión de dispositivos médicos basados en IA. Estas regulaciones buscan subsanar las deficiencias existentes en la supervisión, a la vez que fomentan la innovación en la práctica clínica.^(16,42)

CONCLUSIONES

Los principios clásicos de la ética médica proporcionan un marco conceptual robusto para evaluar estas tecnologías emergentes, pero requieren una reinterpretación y adaptación para abordar las realidades específicas de los sistemas algorítmicos en el contexto quirúrgico.

La preservación de estos principios éticos requiere un enfoque deliberativo y multidisciplinario, así como establecer un marco regulatorio integral, que involucre profesionales médicos, legisladores y desarrolladores de tecnologías, que en su conjunto creen normativas específicas y sometan a las herramientas de IA a un riguroso escrutinio y evaluaciones periódicas, capaces de implementar de forma ética y segura los algoritmos de AA en cirugía.

Es esencial que la educación médica evolucione para preparar a los futuros cirujanos para afrontar estos dilemas éticos complejos y así desarrollen competencias tanto técnicas como éticas que les permitan utilizar estas tecnologías de manera responsable.

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zain Z, Almadhoun MKIK, Alsadoun L, Bokhari SFH, Zain Z, Almadhoun MKIK, *et al.* Leveraging Artificial Intelligence and Machine Learning to Optimize Enhanced Recovery After Surgery (ERAS) Protocols. Cureus [Internet]. 21 de marzo de 2024 [acceso:06/06/2025];16(3). Disponible en: <https://www.cureus.com/articles/236019-leveraging-artificial-intelligence-and-machine-learning-to-optimize-enhanced-recovery-after-surgery-eras-protocols>
2. Bracale U, Iacone B, Tedesco A, Gargiulo A, Di Nuzzo MM, Sannino D, *et al.* The use of mixed reality in the preoperative planning of colorectal surgery: Preliminary experience with a narrative review. Cir Esp Engl Ed [Internet]. 1 de julio de 2024 [acceso:14/08/2025];102:S36-44. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2173507724000371>
3. Pozo JG del, Rodríguez MM, Carballido RJ, Castellón VI. Realidad virtual y navegación intraquirúrgica en urología. Arch Esp Urol [Internet]. 28 de octubre de 2019 [acceso:14/08/2025];72(8):867-81. Disponible en: <https://www.aeurologia.com/EN/Y2019/V72/I8/867>
4. Chen X, Wang X, Zhang K, Fung KM, Thai TC, Moore K, *et al.* Recent advances and clinical applications of deep learning in medical image analysis. Med Image Anal [Internet]. julio de 2022 [acceso:10/08/2025];79:102444. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9156578/>
5. Lazar JF, Hwalek AE. A Review of Robotic Thoracic Surgery Adoption and Future Innovations. Thorac Surg Clin [Internet]. 1 de febrero de 2023 [acceso:14/08/2025];33(1):1-10. Disponible en: [https://www.thoracic.theclinics.com/article/S1547-4127\(22\)00062-7/abstract](https://www.thoracic.theclinics.com/article/S1547-4127(22)00062-7/abstract)

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/imq>
revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





6. Little VR. Robotic Thoracic Surgery: Why It Is Here to Stay. Innovations [Internet]. 1 de marzo de 2021 [acceso:14/08/2025];16(2):113-4. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/15569845211007374>
7. Bellini V, Valente M, Del Rio P, Bignami E. Artificial intelligence in thoracic surgery: a narrative review. J Thorac Dis [Internet]. diciembre de 2021 [acceso:19/04/2025];13(12):6963-75. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8743413/>
8. Handelman GS, Kok HK, Chandra RV, Razavi AH, Lee MJ, Asadi H. eDoctor: machine learning and the future of medicine. J Intern Med [Internet]. 2018 [acceso:14/08/2025];284(6):603-19. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/joim.12822>
9. Blanchar Martinez TM, Pio de la Hoz Restrepo F. Inteligencia artificial en medicina y procedimientos quirúrgicos: impacto en la toma de decisiones y la salud. Rev Cuba Salud Pública [Internet]. diciembre de 2022 [acceso:19/04/2025];48(4). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-34662022000400012&lng=es&nrm=iso&tlng=es
10. Arjmandnia F, Alimohammadi E. The value of machine learning technology and artificial intelligence to enhance patient safety in spine surgery: a review. Patient Saf Surg [Internet]. 25 de marzo de 2024 [acceso:16/08/2025];18(1):11. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13037-024-00393-0>
11. Heyen NB, Salloch S. The ethics of machine learning-based clinical decision support: an analysis through the lens of professionalisation theory. BMC Med Ethics [Internet]. 2021 [acceso:16/08/2025];22(1):112. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12910-021-00679-3>
12. Pineda JM. Modelos predictivos en salud basados en aprendizaje de máquina (machine learning). Rev Médica Clínica Las Condes [Internet]. 2022 [acceso:19/04/2025];33(6):583-90. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864022001213>
<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>
revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





- 13.Vayena E, Blasimme A, Cohen IG. Machine learning in medicine: Addressing ethical challenges. PLoS Med [Internet]. 6 de noviembre de 2018 [acceso:22/05/2025];15(11):e1002689. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6219763/>
- 14.Arjomandi Rad A, Vardanyan R, Athanasiou T, Maessen J, Sardari Nia P. The ethical considerations of integrating artificial intelligence into surgery: a review. Interdiscip Cardiovasc Thorac Surg [Internet]. 25 de febrero de 2025 [acceso:22/05/2025];40(3):ivae192. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11904299/>
- 15.Hassan AM, Rajesh A, Asaad M, Jonas NA, Coert JHenk, Mehrara BJ, *et al.* Artificial Intelligence and Machine Learning in Prediction of Surgical Complications: Current State, Applications, and Implications. Am Surg [Internet]. enero de 2023 [acceso:16/05/2025];89(1):25-30. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9653510/>
- 16.Taher H, Grasso V, Tawfik S, Gumbs A. The challenges of deep learning in artificial intelligence and autonomous actions in surgery: a literature review. Artif Intell Surg [Internet]. 2022 [acceso:16/08/2025];2(3):144-58. Disponible en: <https://www.oaepublish.com/articles/ais.2022.11>
- 17.Meijden SL van der, Arbous MS, Geerts BF. Possibilities and challenges for artificial intelligence and machine learning in perioperative care. BJA Educ [Internet]. 2023 [acceso:16/08/2025];23(8):288-94. Disponible en: [https://www.bjaed.org/article/S2058-5349\(23\)00067-7/fulltext](https://www.bjaed.org/article/S2058-5349(23)00067-7/fulltext)
- 18.Rashidian N, Hilal MA. Applications of machine learning in surgery: ethical considerations. Artif Intell Surg [Internet]. 18 de marzo de 2022 [acceso:16/08/2025];2(1):18-23. Disponible en: <https://www.oaepublish.com/articles/ais.2021.13>

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>
revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





19. Jara Roscón J. Ética en el aprendizaje de la cirugía. Asociación de Bioética de la Comunidad de Madrid [Internet]. 2025 [acceso:06/06/2025]. Disponible en: <https://abimad.org/interrogantes-eticos-en-el-aprendizaje-de-la-cirugia/>
20. Balla JCL, Macías CLC, Mejía AER, Arias CP, Campoverde JDL. Impacto de la Inteligencia Artificial en el Aprendizaje de Habilidades y Evaluaciones Quirúrgicas: Perspectivas en Cirugía General y Laparoscópica. Arandu UTIC [Internet]. 23 de mayo de 2025 [acceso:06/06/2025];12(2):1019-29. Disponible en: <https://www.uticvirtual.edu.py/revista.ojs/index.php/revistas/article/view/973>
21. Weber-Sánchez A. Inteligencia artificial y cirugía. Un análisis desde la vertiente bioética. Rev Mex Cir Endoscópica [Internet]. 26 de enero de 2023 [acceso:06/06/2025];24(1-4):49-54. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=114311>
22. Aparisi S, Carlos J. Los principios de la bioética y el surgimiento de una bioética intercultural. Veritas [Internet]. 2010 [acceso:19/04/2025];(22):121-57. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-92732010000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
23. Ferreres AR. Ética y Cirugía en el siglo xxi. Cir Esp [Internet]. 1 de junio de 2015 [acceso:06/06/2025];93(6):357-8. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-cirugia-espanola-36-articulo-etica-cirugiael-siglo-xxi-S0009739X14003807>
24. Iglesias-Puzas Á, Conde-Taboada A, López-Bran E. Inteligencia artificial y cirugía: la revolución de la medicina de precisión. J Healthc Qual Res [Internet]. 1 de septiembre de 2020 [acceso:19/04/2025];35(5):330-1. Disponible en: <http://www.elsevier.es/en-revista-journal-healthcare-quality-research-257-articulo-inteligencia-artificial-cirugia-revolucion-medicina-S2603647920300555>

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





- 25.Duan X, He R, Jiang Y, Cui F, Wen H, Chen X, *et al.* Robot-assisted navigation for percutaneous localization of peripheral pulmonary nodule: an in vivo swine study. *Quant Imaging Med Surg* [Internet]. 1 de diciembre de 2023 [acceso:18/01/024];13(12):8020-30. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10721995/>
- 26.Elena. Innovación en Robótica Quirúrgica: IA Transformando Cirugías Complejas. *Metaverso Pro* [Internet]. 2024 [acceso:06/06/2025]. Disponible en: <https://metaverso.pro/blog/innovacion-en-robotica-quirurgica-ia-transformando-cirugias-complejas/>
- 27.Salati M, Migliorelli L, Moccia S, Andolfi M, Roncon A, Guiducci GM, *et al.* A Machine Learning Approach for Postoperative Outcome Prediction: Surgical Data Science Application in a Thoracic Surgery Setting. *World J Surg* [Internet]. 1 de mayo de 2021 [acceso:19/12/2024];45(5):1585-94. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00268-020-05948-7>
- 28.Solorzano Párraga MP, Velásquez Espinales LV. Aplicación de los Principios de Bioética en la Práctica Profesional de los Médicos: Revisión Sistemática. *Cienc Lat Rev Multidiscip* [Internet]. 2024 [acceso:19/04/2025];8(2):3699-714. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9502947>
- 29.Albisua J, Pacheco P. Límites éticos en el uso de la inteligencia artificial (IA) en medicina. *Open Respir Arch* [Internet]. 19 de noviembre de 2024 [acceso:06/06/2025];7(1):100383. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11663949/>
- 30.Teasdale A, Mills L, Costello R. Artificial Intelligence-Powered Surgical Consent: Patient Insights. *Cureus* [Internet]. 29 de agosto de 2024 [acceso:28/07/2025];16(8). Disponible en: <https://www.cureus.com/articles/275736-artificial-intelligence-powered-surgical-consent-patient-insights>

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





31. Stahel PF, Holland K, Nanz R. Machine learning approaches for improvement of patient safety in surgery. *Patient Saf Surg* [Internet]. 20 de diciembre de 2024 [acceso:16/08/2025];18(1):37. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13037-024-00422-y>
32. López Molina AI. El Dilema Ético de la IA en la Salud: Avances Tecnológicos y Principios Humanos LinkedIn [Internet]. 2024 [acceso:20/07/2025]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/el-dilema-%C3%A9tico-de-la-ia-en-salud-avances-y-humanos-lopez-molina-a05ee/>
33. ElHassan BT, Arabi AA. Ethical forethoughts on the use of artificial intelligence in medicine. *Int J Ethics Syst* [Internet]. 30 de enero de 2025 [acceso:16/08/2025];41(1):35-44. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1108/IJOES-08-2023-0190>
34. Smith J, Holder A, Kamaleswaran R, Xie Y. Detecting algorithmic bias in medical AI-models. *arXiv* [Internet]. 2024 [acceso:16/08/2025]. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/2312.02959>
35. Shahzad H, Veliky C, Le H, Qureshi S, Phillips FM, Javidan Y, *et al.* Preserving privacy in big data research: the role of federated learning in spine surgery. *Eur Spine J* [Internet]. 1 de noviembre de 2024 [acceso:28/07/2025];33(11):4076-81. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00586-024-08172-2>
36. Morales OB. Sitio Web del Comité de ética en investigación [Internet]. 2017 [acceso:20/07/2025]. Aspectos éticos en la atención médica. Disponible en: <https://www.incmnsz.mx/opencms/contenido/investigacion/>
37. Schiff D, Borenstein J. How Should Clinicians Communicate With Patients About the Roles of Artificially Intelligent Team Members? *AMA J Ethics* [Internet]. 2019 [acceso:16/08/2025];21(2):138-45. Disponible en: <https://journalofethics.ama-assn.org/article/how-should-clinicians-communicate-patients-about-roles-artificially-intelligent-team-members/2019-02>

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/imq>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





- 38.Elgin CY, Elgin C. Ethical implications of AI-driven clinical decision support systems on healthcare resource allocation: a qualitative study of healthcare professionals' perspectives. BMC Med Ethics [Internet]. 21 de diciembre de 2024 [acceso:16/08/2025];25:148. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11662436/>
- 39.Luna Barajas CA. ¿Quién responde en salud por los daños causados por la IA? Implicaciones legales de la responsabilidad civil. InfoSCARE [Internet]. 2024 [acceso:06/06/2025]. Disponible en: <https://revistainfoscare.com/responsabilidad-medico-legal/quien-responde-en-salud-por-los-danos-causados-por-la-ia-implicaciones-legales/>
- 40.Bianchi V, Misuriello F, Piras E, Nesci C, Chiarello MM, Brisinda G. Ethical considerations on the role of artificial intelligence in defining the futility in emergency surgery. Int J Surg [Internet]. 2025 [acceso:16/08/2025];111(5):3178. Disponible en: https://journals.lww.com/international-journal-of-surgery/fulltext/2025/05000/ethical_considerations_on_the_role_of_artificial.4.aspx
- 41.Elendu C, Amaechi DC, Elendu TC, Jingwa KA, Okoye OK, John Okah M, *et al.* Ethical implications of AI and robotics in healthcare: A review. Medicine (Baltimore) [Internet]. 2023 [acceso:16/08/2025];102(50):e36671. Disponible en: https://journals.lww.com/md-journal/fulltext/2023/12150/ethical_implications_of_ai_and_robotics_in.101.aspx
- 42.Maliha G, Gerke S, Cohen IG, Parikh RB. Artificial Intelligence and Liability in Medicine: Balancing Safety and Innovation. Milbank Q [Internet]. 2021 [acceso:16/08/2025];99(3):629-47. Disponible en: <https://www.milbank.org/quarterly/articles/artificial-intelligence-and-liability-in-medicine-balancing-safety-and-innovation/>

Conflictos de interés

Los autores no refieren conflictos de interés.

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>
revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons





Información financiera

Los autores declaran que no hubo subvenciones involucradas en este trabajo.

Contribución de los autores

Conceptualización: Yoservis López Linares

Investigación: Yoservis López Linares, René Santiago Borges Sandrino, Enia Ramón Musibay

Redacción – Elaboración del borrador original: Yoservis López linares

Redacción – Revisión y edición: René Santiago Borges Sandrino, Enia Ramón Musibay

<http://revcimeq.sld.cu/index.php/img>

revinmedquir@infomed.sld.cu

Bajo licencia Creative Commons

