

DOI: 10.26820/recimundo/7.(4).oct.2023.308-321

URL: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/2156>

EDITORIAL: Saberes del Conocimiento

REVISTA: RECIMUNDO

ISSN: 2588-073X

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Artículo de investigación

CÓDIGO UNESCO: 32 Ciencias Médicas

PAGINAS: 308-321







Avances y perspectivas de la Inteligencia Artificial (IA) en anestesiología: un análisis integral en medicina perioperatoria

Advances and prospects of Artificial Intelligence (AI) in anesthesiology: a comprehensive analysis in perioperative medicine

Avanços e perspectivas da Inteligência Artificial (IA) em anestesiologia: uma análise abrangente em medicina perioperatória

Miguel Eduardo Cárdenas Alvear¹; Luis Ángel Gutiérrez Romero²; Liseth Carolina Florez Zulbaran³; Diana Carolina Pillajo Balladares⁴

RECIBIDO: 11/05/2023 **ACEPTADO:** 11/07/2023 **PUBLICADO:** 28/10/2023

1. Diplomado Superior en Docencia Universitaria; Especialista en Anestesiología; Doctor en Medicina y Cirugía; Dirección Técnica de Críticos; Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social Riobamba; Riobamba, Ecuador; pingullin1@hotmail.com;  <https://orcid.org/0009-0002-9002-2061>
2. Médico; Médico General del Servicio de Urgencias; Hospital Santander Herrera de Pivijay; Magdalena, Colombia; luis-gutierrez.md@hotmail.com;  <https://orcid.org/0009-0005-0133-6475>
3. Médica General; Médica General en IPS Salud del Caribe; Cartagena, Bolívar; lisethc.florez@gmail.com;  <https://orcid.org/0009-0005-0133-6475>
4. Médica; Médica Residente en Hospital SOLCA; Quito, Ecuador; diapillajo@hotmail.com;  <https://orcid.org/0009-0008-0336-9803>

CORRESPONDENCIA

Miguel Eduardo Cárdenas Alvear

pingullin1@hotmail.com

Riobamba, Ecuador

RESUMEN

La revisión científica titulada "Avances y Perspectivas de la Inteligencia Artificial en Anestesiología: Un Análisis Integral en Medicina Perioperatoria" se adentra en el análisis de la evolución y las aplicaciones de la Inteligencia Artificial (IA) en el ámbito de la anestesiología. Desde la introducción inicial del concepto de Inteligencia Artificial por John McCarthy en 1956 hasta los avances contemporáneos que abarcan los diversos tipos de aprendizaje asociados con la IA, se explora en detalle el impacto y la transformación que esta tecnología ha generado en la práctica anestésica. Se abordan áreas clave de aplicación de la IA descritas en la literatura, como el monitoreo de la profundidad de la anestesia, el control de la entrega de anestesia, la predicción de eventos perioperatorios, la orientación ecográfica, el manejo del dolor y la logística quirúrgica. Además, se destaca la influencia de la IA en la formación de profesionales en anestesiología mediante simuladores y sistemas de tutoría personalizados. Finalmente, a pesar de patentizar los beneficios potenciales, se advierte acerca de los desafíos éticos, legales y de seguridad que requieren atención, con el fin de lograr una implementación efectiva y responsable de la IA en el campo de la anestesiología.

Palabras clave: Anestesiología, Inteligencia Artificial, Práctica Profesional, Educación Médica.

ABSTRACT

The scientific review titled "Advances and Prospects of Artificial Intelligence in Anesthesiology: A Comprehensive Analysis in Perioperative Medicine" delves into the analysis of the evolution and applications of Artificial Intelligence (AI) in the field of anesthesiology. From the initial introduction of the concept of Artificial Intelligence by John McCarthy in 1956 to contemporary advances encompassing various types of learning associated with AI, the impact and transformation that this technology has brought to anesthetic practice are explored in detail. Key areas of AI application described in the literature are addressed, such as monitoring the depth of anesthesia, controlling the delivery of anesthesia, predicting perioperative events, ultrasound guidance, pain management, and surgical logistics. Additionally, the influence of AI on the training of professionals in anesthesiology through simulators and personalized tutoring systems is highlighted. Finally, despite acknowledging the potential benefits, a warning is issued regarding the ethical, legal, and security challenges that require attention to achieve effective and responsible implementation of AI in the field of anesthesiology.

Keywords: Anesthesiology, Artificial Intelligence, Professional Practice, Education, Medical.

RESUMO

A revisão científica intitulada "Advances and Prospects of Artificial Intelligence in Anesthesiology: A Comprehensive Analysis in Perioperative Medicine" aprofunda a análise da evolução e das aplicações da Inteligência Artificial (IA) no campo da anestesiologia. Desde a introdução inicial do conceito de Inteligência Artificial por John McCarthy em 1956 até aos avanços contemporâneos que englobam vários tipos de aprendizagem associados à IA, o impacto e a transformação que esta tecnologia trouxe à prática anestésica são explorados em pormenor. São abordadas as principais áreas de aplicação da IA descritas na literatura, tais como a monitorização da profundidade da anestesia, o controlo da administração da anestesia, a previsão de eventos perioperatórios, a orientação por ultra-sons, a gestão da dor e a logística cirúrgica. Além disso, destaca-se a influência da IA na formação dos profissionais de anestesiologia por meio de simuladores e sistemas de tutoria personalizados. Por fim, apesar de reconhecer os potenciais benefícios, alerta-se para os desafios éticos, legais e de segurança que requerem atenção para a implementação efetiva e responsável da IA no campo da anestesiologia.

Palavras-chave: Anestesiologia, Inteligência Artificial, Prática Profissional, Educação, Medicina.

Introducción

La inteligencia artificial (IA) desempeña un papel decisivo en la evolución de la medicina, destacándose la anestesiología como un campo que experimenta beneficios significativos gracias a este avance tecnológico.(1,2) La investigación actual se centra en explorar cómo la inteligencia artificial puede mejorar la práctica clínica en anestesiología, con el propósito de optimizar aspectos esenciales en la práctica, entre ellos el flujo de trabajo y la toma de decisiones en la atención anestésica. Es importante enfatizar que el objetivo de la introducción de la IA es complementar la labor del médico y no sustituirlo.(3)

Siendo un ámbito en constante expansión, los resultados de varias revisiones señalan un interés particular en el aprendizaje automático y sus aplicaciones en la atención clínica.. Dada la amplitud de la anestesiología, que abarca desde cuidados intensivos hasta el manejo del dolor y la administración de fármacos, esta disciplina está bien posicionada para aprovechar los avances en IA.(3) La literatura subraya la intersección de la inteligencia artificial y la anestesia, identificando técnicas utilizadas en la investigación anestésica y sus aplicaciones clínicas. La IA tiene el potencial de impactar diversos aspectos de la anestesiología, desde el respaldo perioperatorio hasta los cuidados intensivos y el tratamiento del dolor ambulatorio, una preocupación crucial para los pacientes después de la cirugía. Los sistemas de inteligencia artificial pueden facilitar la detección temprana de enfermedades, agilizar los diagnósticos, personalizar los tratamientos, optimizar los flujos de trabajo clínicos, reducir los errores humanos y mejorar la seguridad del paciente.(5) Asimismo, esta tecnología resulta especialmente beneficiosa para monitorear la profundidad de la anestesia, contribuyendo a la seguridad del paciente al prevenir deterioros cognitivos y sobredosis de anestesia. En efecto, una revisión reciente publicada en la revista *Anesthesiology* ha destacado

seis áreas clave de aplicación de la inteligencia artificial en anestesiología que abarcan desde la monitorización de la profundidad de la anestesia, el control anestésico, la predicción de eventos y riesgos, hasta la guía ecográfica, el manejo del dolor y la optimización de la logística hospitalaria en la sala de operaciones, aspectos esenciales para la implementación exitosa de la inteligencia artificial en la práctica clínica de la anestesiología.(5)

De esa manera, el presente trabajo permite comprender cómo la IA puede mejorar la práctica clínica de la anestesiología, ofreciendo oportunidades para una atención más avanzada y eficaz, resumiendo las características más importantes de la inteligencia artificial, como el aprendizaje automático y sus tipos, técnicas específicas y los principales campos de aplicación.(6) En consecuencia, esta valiosa revisión, especialmente relevante en el ámbito educativo, despertará el interés no solo de profesionales vinculados a la anestesiología, sino también de aquellos que se desempeñan en diversas áreas de las Ciencias de la Salud. Se destaca la imperiosa necesidad de mantenerse actualizados sobre las últimas tecnologías y capacitarse en su implementación, tanto para maximizar los beneficios como para minimizar los riesgos.(3,4) Este enfoque se extiende a profesionales relacionados con campos afines, subrayando que la lectura de revisiones sólidas representa la vía óptima para estar al tanto de los desarrollos actuales en las esferas de interés general.

En resumen, la inteligencia artificial está generando una transformación significativa en la práctica médica en su conjunto, con un impacto particularmente destacado en la disciplina de la anestesiología. El enfoque basado en inteligencia artificial no solo promete revolucionar la atención médica, sino que también tiene el potencial de mejorar tanto la eficiencia como la calidad del servicio, marcando así un avance significativo en el campo de la medicina.

Objetivo General

Analizar de manera integral la evolución y aplicaciones de la Inteligencia Artificial (IA) en el ámbito de la anestesiología, desde su concepción hasta la actualidad con el propósito de comprender cómo la IA ha transformado la práctica anestésica en medicina perioperatoria.

Objetivos Específicos:

1. Explorar la evolución histórica de la Inteligencia Artificial desde su conceptualización hasta los avances actuales en anestesiología, con énfasis en el impacto de la IA en la práctica médica perioperatoria.
2. Describir las diversas aplicaciones de la Inteligencia Artificial en anestesiología, centrándose en áreas clave como el monitoreo de la profundidad de la anestesia, el control de la entrega de anestesia, la predicción de eventos perioperatorios, la orientación ecográfica, el manejo del dolor y la logística quirúrgica.
3. Destacar los posibles beneficios derivados de la implementación de la Inteligencia Artificial en el campo de la anes-

tesiólogía, poniendo especial énfasis en aspectos vinculados a la educación, desafíos éticos, legales y de seguridad, así como en la mejora de la eficiencia y la personalización de la atención al paciente durante procedimientos quirúrgico.

Materiales y métodos

Este artículo de revisión presenta un enfoque en investigación cualitativa de carácter documental o bibliográfico principalmente, sobre el influjo de la Inteligencia Artificial (IA) en el ámbito de la anestesiología. (7–9) La metodología adoptada se apoya en una revisión minuciosa de la literatura especializada en IA en el contexto de la medicina y la anestesiología, incluyendo fuentes académicas, revisiones sistemáticas y estudios empíricos publicados en revistas científicas.(9) En ese sentido, se accedió a artículos de revistas científicas indexadas, incluyendo metaanálisis y revisiones sistemáticas, a través de motores de búsqueda especializados como SciELO Regional, Elsevier Scopus, Dialnet, MEDLINE/PubMed, Latindex y Cochrane Library, entre otros recursos (Tabla 1.).

Tabla 1. Ejemplo de aplicación de estrategias de búsquedas

No	Base de datos	Fecha de búsqueda	Estrategia de búsqueda	No. de resultados
1	PubMed	25/11/2023	Artificial Intelligence AND Anesthesiology (Education, Medical AND Professional Practice)	5
2	PubMed	25/11/2023	Artificial Intelligence AND Anesthesiology	1,843

La selección de artículos siguió criterios específicos y sistematizados, con énfasis en aquellos publicados en los últimos 5 años (2018-2023) o, en casos excepcionales de relevancia, con una antigüedad superior

(Tabla 2.) Se emplearon palabras clave en inglés y español, seleccionadas de los tesauros de Medical Subject Headings (MeSH) y Descriptores de Ciencias de la Salud (DeCS) (Tabla 3).

Tabla 2. Resumen criterios de búsqueda

Categoría de búsqueda:	Descripción:
Palabras claves/ keywords:	English: Anesthesiology, Artificial Intelligence, Professional Practice, Education, Medical Español: Anestesiología, Inteligencia Artificial, Práctica Profesional, Educación Médica.
Criterios de inclusión:	Inteligencia Artificial aplicada a Medicina y/o Anestesiología
Criterios de exclusión:	Inteligencia Artificial aplicada a otras ramas no médicas
Tiempo de vigencia:	≤ 5 años (2018 a 2023) > 5 años por relevancia
Idiomas:	Inglés y español

Tabla 3. Palabras claves o keywords MeSH y DeCS

Descriptors (MeSH)	Descriptores (DeCS)
• Anesthesiology	• Anestesiología
• Artificial Intelligence	• Inteligencia Artificial
• Professional Practice	• Práctica Profesional
• Education, Medical	• Educación Médica

El presente artículo explora la evolución histórica y teórica de la Inteligencia Artificial (IA) desde sus inicios hasta su desarrollo actual, proporcionando un contexto sólido y se adentra en subcampos de la IA aplica-

dos en anestesiología, destacando el aprendizaje automático y profundo. Además, examina estudios específicos que utilizan estos enfoques en contextos clínicos, resaltando relevancias y limitaciones. Identifica

seis áreas clave de aplicación de la IA en anestesiología según una revisión reciente, profundizando en aplicaciones específicas como el monitoreo de la profundidad anestésica y la personalización de la administración de anestesia. Aborda el impacto de la IA en la formación de profesionales de la anestesiología, señalando desafíos éticos, legales y de seguridad. Destaca la importancia de un enfoque colaborativo y multidisciplinario para abordar desafíos y capitalizar beneficios, haciendo hincapié en la transparencia en el diseño de algoritmos y consideraciones éticas. Concluye resaltando el potencial transformador de la IA en la práctica anestésica, subrayando beneficios en seguridad, eficiencia y personalización, pero reconociendo la necesidad de abordar desafíos éticos y garantizar un uso responsable de la tecnología en este contexto.

Discusión

La Inteligencia Artificial es un campo de la informática que se centra en el desarrollo de sistemas capaces de realizar tareas que requieren inteligencia humana.(10) Estas tareas incluyen el aprendizaje, el razonamiento, la percepción y la interacción con el entorno. La IA se ha vuelto cada vez más relevante en diversas áreas de la medicina, y la anestesiología, rama de la medicina que se ocupa de la administración de anestesia, es decir, la inducción de un estado reversible de pérdida de conciencia, analgesia, relajación muscular y, en algunos casos, amnesia para permitir intervenciones quirúrgicas y procedimientos médicos, no es una excepción.(11)

El concepto de "inteligencia artificial" (IA) fue introducido por John McCarthy en 1956. (10,12) Este término conceptualiza el estudio de algoritmos que permiten a las máquinas razonar y llevar a cabo diversas funciones, como el reconocimiento de objetos y palabras, la resolución de problemas, toma de decisiones e inferencia de estados mundiales.(3,5,12)

Aunque generalmente se asocia la inteligencia artificial con computadoras y robots,

sus fundamentos se extienden a disciplinas diversas como la filosofía, la lingüística, la psicología y la estadística.(13) Personajes destacados, como Leonardo Da Vinci, Blas Pascal, Charles Babbage, Ada Lovelace, Alan Turing, Claude Shannon, Richard Bellman, Marvin Minsky y el mismo John McCarthy, entre otros, realizaron contribuciones notables que establecieron los cimientos de la inteligencia artificial moderna.(1,3,14) A pesar de provenir de campos variados, estos pensadores influyentes convergieron en la formulación de los principios fundamentales que respaldan la inteligencia artificial contemporánea. (1,14)

No obstante, los avances en ciencias de la computación, haciendo hincapié en mejoras en hardware, han facilitado las tecnologías esenciales para el surgimiento y desarrollo continuo de la inteligencia artificial. Estos progresos han posibilitado que la inteligencia artificial evolucione y se aplique en diversas áreas, transformando la manera en que las máquinas interactúan con su entorno y ejecutan funciones complejas.(14)

El aprendizaje por máquinas, que se puede entender como la implementación práctica de la inteligencia artificial, ha impactado positivamente en campos como la medicina, mejorando la salud a través de aplicaciones como el reconocimiento de imágenes y el análisis de datos. (2,15) Sin embargo, se enfrenta a desafíos, como sesgos en los datos originales que pueden conducir a resultados no deseados.(3) Las directrices multidisciplinarias buscan abordar estos problemas en la investigación biomédica. En relación a lo anterior, el concepto de robótica tiene sus raíces en la literatura de ciencia ficción, con las famosas leyes de la robótica creadas por el escritor de ciencia ficción Isaac Asimov. Estas leyes aparecieron por primera vez en su relato corto "Runaround" en 1942 y se convirtieron en un elemento distintivo de muchas de sus obras posteriores(3,16). Las Tres leyes de la Robótica son:

1. Un robot no puede hacer daño a un ser humano ni permitir que un ser humano sufra daño, priorizando la seguridad humana.(17)
2. Un robot debe obedecer las órdenes humanas, excepto si estas entran en conflicto con la Primera Ley, evitando acciones perjudiciales. (17)
3. Un robot debe proteger su propia existencia, siempre y cuando no entre en conflicto con la Primera o la Segunda Ley, priorizando su supervivencia sin dañar a los humanos. (17)

Estas leyes, complementadas por la Ley 0 introducida en la novela "Robots e Imperio" de Isaac Asimov en 1985, han tenido un impacto significativo en la discusión sobre la intersección entre tecnología y ética. (18) La Ley Cero, una expansión de las Tres Leyes Originales, destaca la prioridad de preservar la humanidad, incluso si implica poner en peligro individuos o grupos. (18) Esta evolución en el pensamiento de Asimov aborda dilemas éticos más complejos donde las Tres Leyes Originales no ofrecen orientación clara. (17,18) A través de la dotación de cerebros positrónicos a sus robots, Asimov subraya la estrecha relación entre robótica e inteligencia artificial. Es esencial señalar que estas leyes son creaciones literarias sin aplicación real en la programación de robots o inteligencia artificial. No obstante, han dejado una marca significativa en la forma en que la sociedad considera las implicaciones éticas de la inteligencia artificial y la robótica.

En un rápido análisis sobre el proceso de "aprendizaje" de la inteligencia artificial, varios autores destacan al aprendizaje automático (Machine Learning), reconocido ampliamente como un destacado subcampo de la inteligencia artificial en diversas clasificaciones.(3) Aunque el aprendizaje automático constituye una parte integral de la inteligencia artificial, es fundamental señalar que no todo el espectro de la inteligencia artificial se fundamenta en él.(3,19) A dife-

rencia de los programas informáticos convencionales, este enfoque permite que los programas aprendan y se adapten a los datos sin una programación detallada. Puede analizar una amplia variedad de datos diferentes, entre ellos texto, imágenes, números y voz.(15) La conceptualización común del aprendizaje automático se basa en el tipo de algoritmo utilizado, ya sea supervisado, no supervisado o por refuerzo.(3) El aprendizaje supervisado implica suministrar un conjunto de datos etiquetado para entrenar al modelo, centrándose en tareas específicas. En este enfoque, los algoritmos se preparan para prever resultados determinados, como la identificación de señales de tráfico o el reconocimiento de determinadas imágenes.(3,5) Este enfoque implica el uso de conjuntos de datos de entrenamiento y prueba. El conjunto de entrenamiento, que suele representar el 70% de los datos, permite a la máquina analizar las relaciones entre las entradas y salidas. En contraste, el conjunto de prueba, abarcando el 30% restante, se encarga de evaluar el desempeño del algoritmo en datos nuevos, tal como un estudio realizado por Kendale et al. utilizando aprendizaje supervisado con datos de registros electrónicos de salud para identificar pacientes con hipotensión postinducción (PAM < 55 mmHg).(3,5,20) El conjunto de datos de entrenamiento (70% de los pacientes) incluyó variables como estado físico según la ASA, edad, índice de masa corporal, comorbilidades, medicamentos y presiones arteriales iniciales. Utilizaron diversos algoritmos para analizar y aprender las variables predictoras. Posteriormente, evaluaron la precisión con la que el algoritmo podía anticipar la hipotensión en el 30% restante de los pacientes.(20) En algunas investigaciones se opta por realizar una validación externa mediante conjuntos de datos independientes para evaluar la capacidad de generalización del algoritmo a diversas fuentes de información. Por ejemplo, un estudio que emplea datos hospitalarios podría incorporar información de otro establecimiento para validar el rendimiento del algoritmo en distintas poblaciones.(3)

El aprendizaje no supervisado se refiere a algoritmos capaces de descubrir patrones en conjuntos de datos, ofreciendo utilidad en la categorización innovadora de pacientes, medicamentos y otros grupos.(3,5) En otras palabras, el modelo encuentra patrones por sí mismo en datos no etiquetados. Bisgin et al. aplicaron este método al analizar las etiquetas de medicamentos de la FDA, identificando aspectos cruciales (farmacocinética, farmacodinámica y reacciones adversas) y clasificando automáticamente los medicamentos.(3,21) Este enfoque no solo permite generar hipótesis para futuras investigaciones, sino que también brinda la oportunidad de identificar pacientes que podrían beneficiarse más de determinados medicamentos en comparación con otros, en contextos particulares de condiciones o enfermedades.(5)

El aprendizaje por refuerzo se caracteriza por la capacidad de un algoritmo para adquirir conocimientos sobre la realización de una tarea específica, como la administración de anestesia, a través de la iteración de ensayo y error.(5) En este proceso, el modelo se involucra con un entorno, interactuando y recibiendo retroalimentación en forma de premios o penalizaciones. Desde una perspectiva biológica, este enfoque se asemeja al condicionamiento operante, ilustrado clásicamente por el experimento de Skinner con una rata que fue entrenada para presionar una palanca mediante el ofrecimiento de recompensas alimenticia.(22) Sin embargo, en la actualidad, los retos asociados con este tipo de aprendizaje han adquirido una mayor complejidad. En un estudio llevado a cabo por Padmanabhan et al., se implementó esta técnica con el fin de desarrollar un controlador de anestesia. Este controlador utiliza la retroalimentación proveniente del índice bispectral (BIS) y la presión arterial media (PAM) del paciente para ajustar las tasas de infusión de propofol en un modelo de paciente simulado. El algoritmo recibe recompensas cuando logra mantener los valores de BIS y PAM dentro de un rango es-

pecífico, generando ajustes adicionales en caso de que dichos valores se sitúen fuera de dicho intervalo.(3,23)

Otro subcampo, el aprendizaje profundo, o "deep learning", es una categoría de redes neuronales con múltiples capas (llamadas redes neuronales profundas) e incluye variantes avanzadas como las redes neuronales convolucionales, especializadas en datos matriciales, y las redes neuronales recurrentes, diseñadas para análisis secuencial de datos.(3,5) Estas redes neuronales profundas están diseñadas para imitar la estructura y el funcionamiento del cerebro humano, con capas de nodos (neuronas) que procesan y transforman la información de manera jerárquica.(3,5,24) El aprendizaje profundo ha demostrado ser especialmente eficaz en tareas de reconocimiento de patrones, procesamiento de imágenes y de voz, traducción automática, entre otras.(24,25) Requiere grandes cantidades de datos y poder computacional, y a menudo se beneficia de las unidades de procesamiento gráfico (GPU) para acelerar el entrenamiento.

A pesar de la percepción negativa generada por Hollywood y los medios de comunicación en torno a la inteligencia artificial, es fundamental discernir entre la inteligencia artificial general, que aborda la complejidad total de la inteligencia humana, y las aplicaciones actuales que se centran en propiedades específicas. Un ejemplo destacado se encuentra en el ámbito médico, donde la inteligencia artificial (IA) ha encontrado aplicaciones que van desde diagnósticos en radiología y patología hasta intervenciones terapéuticas en cardiología y cirugía. En 2018, la Administración de Alimentos y Medicamentos de EE.UU. aprobó el primer software de IA para el diagnóstico de retinopatía diabética, marcando un hito significativo en la integración de la tecnología en la práctica médica. A medida que esta integración se expande, es importante que los profesionales de la salud adquieran un profundo entendimiento de su funcionamiento y aprendan a aprovecharla de manera efec-

tiva para brindar una atención más segura, eficiente y rentable. La investigación en IA en medicina avanza, ofreciendo oportunidades emocionantes. Su inclusión en el Quintuple Objetivo resalta su función integral en el avance constante de la seguridad del paciente perioperatorio, haciendo hincapié en la promoción de la equidad médica.(26)

En el campo específico de la anestesiología, la relevancia de la inteligencia artificial se subraya aún más. La evolución de la IA en este campo se remonta a la década de 1950, explorando desde la anestesia automática basada en ondas cerebrales hasta la administración automatizada de propofol utilizando el índice bispectral, demostrando superioridad en eficacia y tiempos de recuperación.

La *terapia guiada por objetivos* (GDT) emerge como una estrategia destacada para reducir complicaciones posoperatorias, y la IA, a través de sistemas automáticos de administración de fluidos, se presenta como una alternativa prometedora basada en retroalimentación segura y eficaz.(27) La investigación actual se centra en la automatización de aspectos como, el alivio del dolor, el sueño y la administración de líquidos mediante sistemas expertos, con perspectivas de implementación clínica inminente.

Un caso concreto que destaca la relevancia de la aprobación regulatoria en el progreso de la implementación clínica de sistemas de inteligencia artificial en anestesiología es el respaldo continuo otorgado al sistema AutoTIVA (titulación automatizada de propofol y remifentanilo mediante el índice bispectral -BIS-) por parte de la Marina de los Estados Unidos y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), en marcado contraste con la retirada del mercado del sistema Sedasys (21,22). Este contraste resalta la influencia crítica de la aprobación normativa en el desarrollo exitoso de tecnologías innovadoras en el ámbito anestésico..

Este énfasis se basa en los hallazgos de una revisión reciente publicada en la revista *Anesthesiology*, que Identifica seis áreas

clave de aplicación de la inteligencia artificial en anestesiología.(3) Estas áreas abarcan desde la monitorización de la profundidad de la anestesia y el control anestésico hasta la predicción de eventos y riesgos.(5) Además, la IA se destaca en la guía ecográfica, el manejo del dolor y la optimización de la logística hospitalaria en la sala de operaciones.(5) Este enfoque integral demuestra el impacto potencial de la inteligencia artificial en diversos aspectos de la práctica anestésica, consolidando su papel como herramienta invaluable en este campo.

En lo que respecta al *Monitoreo de la Profundidad de la Anestesia*, los estudios que abordan este beneficio se concentran en la aplicación del Índice de Severidad Bispectral (BIS) y la electroencefalografía (EEG). (5,28) El enfoque principal se dirige hacia la prevención de la conciencia intraoperatoria, siendo tanto el BIS como la EEG indicadores indispensables para este propósito.(5,28) El uso del aprendizaje automático ha demostrado ser eficaz en el análisis de datos complejos provenientes de la EEG, resaltando la habilidad de las redes neuronales para evaluar diversas características y mejorar la precisión en la identificación de pacientes que se encuentran despiertos o bajo efectos de la anestesia.(5)

En cuanto al control de la entrega de anestesia, se ha observado una evolución que parte del uso de signos clínicos convencionales, como la presión arterial, hasta la adopción del Índice de Severidad Bispectral (BIS) como una medida objetiva.(5) La inteligencia artificial (IA) emerge como una herramienta clave para personalizar la administración de anestesia, utilizando análisis de datos genéticos y otros factores individuales. Este enfoque no solo mejora la eficacia del proceso, sino que también contribuye a la reducción de efectos secundarios. Además, la IA demuestra su utilidad al analizar datos en tiempo real, como la respuesta del paciente a la anestesia, permitiendo ajustes automáticos en la dosificación para mantener un nivel óptimo durante la cirugía.(29)

Asimismo, posibilita el monitoreo continuo de signos vitales y otros parámetros, emitiendo alertas tempranas ante cambios significativos en la condición del paciente. Se resalta la aplicación de lógica difusa y aprendizaje por refuerzo para optimizar el control anestésico, proporcionando un enfoque más preciso y adaptativo.(30) La influencia de la IA se extiende a la administración automatizada del bloqueo neuromuscular y al control de la ventilación mecánica.(31) La predicción de eventos perioperatorios y postoperatorios se convierte en una práctica indispensable para anticipar complicaciones mediante técnicas de aprendizaje automático, redes neuronales y lógica difusa.(3) Esto incluye aspectos como la duración de la estancia hospitalaria, el mantenimiento de la conciencia, entre otros. En particular, se destaca la capacidad de los algoritmos de aprendizaje automático para analizar datos históricos y prever posibles complicaciones durante la anestesia y la cirugía, permitiendo a los profesionales de la salud tomar medidas preventivas de manera proactiva. Se hace hincapié en el empleo de redes neuronales para predecir efectos hipnóticos de anestésicos, así como en la aplicación de modelos de regresión logística para anticipar eventos como la hipotensión y prever las necesidades de ventilación, deterioro clínico, morbilidad y mortalidad.(3,5) Este enfoque integral demuestra el potencial transformador de la inteligencia artificial en la mejora continua de la práctica anestésica y la seguridad del paciente.

La *Orientación Ecográfica* describe el uso de técnicas de inteligencia artificial (IA) destinadas a potenciar procedimientos basados en ultrasonido, siendo las redes neuronales su principal herramienta para la clasificación de imágenes.(5) Esta aplicación abarca desde la identificación de estructuras anatómicas, como arterias y venas, hasta la automatización en la localización de puntos de referencia esenciales para procedimientos como la colocación epidural.(5) Asociado al Manejo del Dolor, la inteligencia artificial desempeña un papel fundamental

al permitir la predicción precisa de dosis de opioides, así como la identificación proactiva de pacientes que podrían beneficiarse de una consulta preoperatoria para el dolor agudo.(5,32) La IA se ha empleado con éxito en el análisis de datos provenientes de imágenes cerebrales y señales fisiológicas, con el objetivo primordial de optimizar la identificación y gestión del dolor.(33) Este enfoque integral demuestra el potencial transformador de la inteligencia artificial en dos áreas cruciales de la práctica médica, destacando su capacidad para mejorar la precisión y eficacia de los procedimientos ecográficos y su contribución significativa al avance en el manejo del dolor, desde la predicción de dosis hasta la identificación temprana de pacientes en riesgo.(5)

La *Logística de Quirófano*, en última instancia, explora la incorporación de la Inteligencia Artificial (IA) para analizar diversos aspectos logísticos en los procedimientos quirúrgicos. Entre las funciones que aborda se encuentra la predicción de la duración de las operaciones, la optimización del uso de camas y el seguimiento de los movimientos de los anestesiólogos.(34) Para lograr estos objetivos, se emplean métodos avanzados como redes neuronales y lógica difusa, contribuyendo así a mejorar tanto la eficiencia operativa como la seguridad del paciente.(5) La inteligencia artificial desempeña un papel crucial al asistir en la automatización de tareas rutinarias dentro del quirófano.(35) Esta automatización no solo agiliza los procesos, sino que también libera a los anestesiólogos de labores repetitivas, permitiéndoles concentrarse en decisiones clínicas más complejas y en brindar una atención personalizada al paciente.

Es esencial destacar la marcada influencia de la inteligencia artificial (IA) en la formación y capacitación de profesionales, especialmente en el ámbito de la anestesiología. Este impacto se materializa a través de la aplicación de simuladores de *Realidad Virtual (RV) y Aumentada (RA)* que incorporan la IA en entornos de simulación, brindando

experiencias inmersivas de entrenamiento. (36,37) En este contexto, los profesionales tienen la oportunidad de practicar procedimientos, enfrentarse a escenarios realistas y tomar decisiones críticas sin exponer a los pacientes a riesgos. Otra contribución significativa de la IA al entrenamiento de anestesiólogos son los *Sistemas de Tutoría Personalizados*, donde la IA se adapta al progreso individual de cada estudiante, identifica fortalezas y debilidades, y proporciona materiales educativos específicos para mejorar la comprensión y habilidades en áreas particulares.(37–39) En este sentido, las *plataformas de e-learning* impulsadas por IA ofrecen contenido personalizado, evaluaciones adaptativas y retroalimentación instantánea, haciendo que el proceso de aprendizaje sea más eficiente y atractivo para los estudiantes.(39,40)

En términos de evaluaciones de rendimiento académico y práctico, la IA puede analizar extensos conjuntos de datos, identificando patrones y tendencias, lo que permite a los educadores evaluar de manera más efectiva el progreso de los estudiantes y ajustar los enfoques de enseñanza según sea necesario. Asimismo, los anestesiólogos pueden beneficiarse de asistentes virtuales basados en IA que proporcionan información actualizada sobre los últimos avances en la investigación médica y los procedimientos anestésicos.(41) Estos asistentes apoyan a la educación continua y mantienen a los profesionales al tanto de las últimas prácticas y tecnologías.(41,42) Además, los sistemas de IA pueden auxiliar a los anestesiólogos en la toma de decisiones más informadas y rápidas durante los procedimientos. Al analizar datos en tiempo real, como signos vitales del paciente y datos de monitoreo, la IA puede ofrecer recomendaciones y alertas pertinentes.(43) En este sentido, la IA también desempeña un papel crucial en la interpretación de imágenes médicas, como resonancias magnéticas y tomografías computarizadas, facilitando el diagnóstico y la planificación de procedimientos.

Adicionalmente, la IA facilita la recopilación y análisis de grandes volúmenes de datos se revelan como herramientas fundamentales en el campo de la anestesiología.(4) Este enfoque permite identificar patrones, reconocer tendencias y establecer mejores prácticas a partir de la vasta cantidad de información recopilada.(4) En consecuencia, la toma de decisiones se vuelve más informada y eficiente, contribuyendo a elevar los estándares de atención médica en el ámbito quirúrgico.

La integración de sistemas de inteligencia artificial (IA) en anestesiología promete impulsar la seguridad y eficiencia de los procedimientos anestésicos, mejorando así la atención médica para pacientes y profesionales de la salud.(3,4) Estos sistemas alertan sobre posibles complicaciones durante la anestesia, permitiendo intervenciones tempranas y elevando los estándares de seguridad. A pesar de los beneficios potenciales, es crucial reconocer que la supervisión humana sigue siendo indispensable, con la IA desempeñando un papel de apoyo para optimizar la atención médica. Aunque la IA promete mejorar la práctica de la anestesiología, también plantea desafíos éticos, prácticos, legales y de seguridad que requieren una cuidadosa consideración para garantizar beneficios genuinos para los pacientes.(4) La privacidad de los datos, la interpretación de algoritmos y la toma de decisiones autónoma son temas que deben abordarse de manera cuidadosa.(4)

A pesar de los avances, la implementación efectiva de la IA en anestesiología requiere esfuerzos colaborativos. La transparencia en el diseño de algoritmos, la eliminación del sesgo y la atención a los aspectos éticos son consideraciones críticas.(44) La aceptación y comprensión de esta tecnología son fundamentales para aprovechar su potencial sin comprometer la seguridad y la ética en la práctica clínica. Es esencial no temer a la obsolescencia profesional, ya que la IA busca complementar las habilidades de los profesionales de la salud.(45) La

colaboración multidisciplinaria entre profesionales de la anestesia, científicos, informáticos y expertos en IA es perentoria.

En resumen, la integración de la Inteligencia Artificial en la anestesiología tiene el potencial de mejorar la seguridad, eficiencia y personalización de la atención al paciente durante los procedimientos quirúrgicos. Sin embargo, es esencial abordar los desafíos éticos y garantizar que la tecnología se utilice de manera responsable y beneficiosa para los pacientes y los profesionales de la salud.

Conclusiones

- La Inteligencia Artificial (IA) ha experimentado una evolución significativa, encontrando aplicaciones diversas en la medicina, particularmente en la anestesiología, donde ha transformado tanto la administración de anestésicos como la realización de procedimientos quirúrgicos. Desde la aprobación de software de IA para diagnóstico hasta la automatización de la administración de anestesia, la IA ha demostrado de manera concluyente su relevancia y eficacia en este ámbito.
- El desarrollo histórico de la IA se remonta a figuras destacadas en diversos campos, y su progresión ha sido impulsada por avances notables en ciencias de la computación, especialmente en el ámbito del hardware. Aunque las leyes de la robótica propuestas por Isaac Asimov han influido en la ética de la IA, es importante destacar que estas leyes, a pesar de su impacto literario, carecen de aplicación práctica en la programación real de robots.
- El aprendizaje automático emerge como un componente esencial en la implementación práctica de la IA, presentando una diversidad de enfoques, que incluyen aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo, cada uno con aplicaciones específicas en el ámbito médico y, más concretamente, en la anestesiología.
- La IA despliega aplicaciones fundamentales en la monitorización de la profundidad de la anestesia, el control anestésico, la predicción de eventos perioperatorios, la orientación ecográfica, el manejo del dolor y la logística quirúrgica. Además, su influencia se extiende a la formación y capacitación de profesionales de la anestesiología, mejorando la educación mediante la implementación de simuladores y sistemas de tutoría personalizados.
- A pesar de los beneficios innegables, la implementación de la IA en anestesiología plantea desafíos éticos, prácticos, legales y de seguridad, abordando cuestiones como la privacidad de los datos y la toma de decisiones autónoma. En este contexto, la supervisión humana continúa siendo esencial, y la colaboración multidisciplinaria se presenta como un elemento capital para abordar los aspectos éticos y asegurar un uso responsable de esta tecnología vanguardista.

Recomendaciones

- Es necesario mantener la transparencia en el diseño de algoritmos de IA y fomentar la colaboración multidisciplinaria entre profesionales de la salud, científicos, informáticos y expertos en IA.
- Los desafíos éticos, la interpretación de algoritmos y la seguridad deben abordarse cuidadosamente para garantizar que la IA beneficie genuinamente a pacientes y profesionales de la salud. La IA ofrece oportunidades emocionantes para mejorar la seguridad, eficiencia y personalización de la atención al paciente en anestesiología. Se recomienda aprovechar estas oportunidades para avanzar en la práctica médica.
- Se recomienda un énfasis en la formación y comprensión de la tecnología por parte de los profesionales de la salud para aprovechar el potencial de la IA sin comprometer la seguridad y la ética en la práctica clínica.

Bibliografía

- Abeliuk A, Gutiérrez C. Historia y evolución de la inteligencia artificial. *Rev Bits Cienc.* 2021;(21):14–21.
- Avila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introducción antecedentes a la IA y robótica. *Atención Primaria* [Internet]. 2020;52(10):778–84. Available from: <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-articulo-la-inteligencia-artificial-sus-aplicaciones-S0212656720301451>
- Lacassie HJ. Artificial intelligence for the 21 century anesthesiologist. *Rev Chil Anest.* 2022;51(5):505–7.
- Benavent D, Colomer J, Quecedo L, Gol-Moncerrat J, E. del Llano J. Inteligencia artificial y decisiones clínicas: Cómo está cambiando el comportamiento del médico [Internet]. 2020. 226 p. Available from: <https://fundaciongasparcasal.org/wp-content/uploads/2020/12/Decisiones-clinicas-e-inteligencia-artificial.pdf>
- Hashimoto DA, Witkowski E, Gao L, Meireles O, Rosman G. Artificial intelligence in anesthesiology: Current techniques, clinical applications, and limitations. *Anesthesiology.* 2020;(2):379–94.
- Tan JM, Cannesson MP. Newsletter Links. *BOLETÍN Inf.* 6(1).
- Rivas Ruiz F. Taller Cómo publicar un artículo original en revistas científicas con factor de impacto. 2017;(26):101–9.
- Córdoba Pachón JR. Perspectivas para la sociedad de la información. *Pensam Gestión* [Internet]. 2005;19:78–100. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64601904>
- Camilo Fuentes J, Andrea Cañón L, Viviana Pérez Á, E Pinzón C, María Pérez A, Avellaneda PA, et al. Metodologías para la priorización en investigación en salud: una revisión sistemática de la literatura. *Rev Panam Salud Publica.* 2017;41:e122.
- Porcelli Adriana Margarita. La inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos. *Derecho Glob Estud sobre derecho y justicia* [Internet]. 2020;6(16):49–105. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-51362020000300049&script=sci_arttext
- Gómez-Rojas JP. Historia de la anestesiología. *Rev Mex Anesthesiol.* 2021;44(4):288–99.
- Garzona Navas A. Inteligencia Artificial en Cardiología. *Rev Costarric Cardiol.* 2022;24(2):3–5.
- Barrera L. Fundamentos Históricos Y Filosóficos De La Inteligencia Artificial. *UCV-HACER Rev Investig y Cult* [Internet]. 2012;1(1):87–92. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/5217/521752338014.pdf>
- Caparrini FS. Breve historia de la inteligencia artificial. *Rev Occident.* 2018;2018-July(446–447):19–33.
- Etemadi M, Hogue CW. Preventing Intraoperative Hypotension: Artificial Intelligence versus Augmented Intelligence? *Anesthesiology* [Internet]. 2020 Dec 1;133(6):1170–2. Available from: <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003561>
- Brauner A-S, Gymnasium MG. Runaround by Isaac Asimov and the significance of the Three Laws of Robotics in today's world.
- Isaac Asimov. *El círculo vicioso.* Vol. 42, Books Abroad. 1942. 20 p.
- Asimov I. *LOS ROBOTS Y EL IMPERIO* Librodot.
- Vega MÁ, Mora LMQ, Badilla MVC. Inteligencia artificial y aprendizaje automático en medicina. *Rev médica Sinerg.* 2020;5(8):e557–e557.
- Kendale S, Kulkarni P, Rosenberg AD, Wang J. Supervised Machine-learning Predictive Analytics for Prediction of Postinduction Hypotension. *Anesthesiology.* 2018 Oct;129(4):675–88.
- Bisgin H, Liu Z, Fang H, Xu X, Tong W. Mining FDA drug labels using an unsupervised learning technique--topic modeling. *BMC Bioinformatics.* 2011 Oct;12 Suppl 1(Suppl 10):S11.
- Solórzano J. Historia del condicionamiento operante. 2020;
- Padmanabhan R, Meskin N, Haddad WM. Closed-loop control of anesthesia and mean arterial pressure using reinforcement learning. *Biomed Signal Process Control* [Internet]. 2015;22:54–64. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bspc.2015.05.013>
- Shinde PP, Shah S. A review of machine learning and deep learning applications. In: 2018 Fourth international conference on computing communication control and automation (ICCCUBEA). IEEE; 2018. p. 1–6.
- Macias Vera GG. Estudio relacionado con nuevas tecnologías de machine Learning para determinar cuadros clínicos. *Babahoyo: UTB-FAFI.* 2023; 2023.
- Nundy S, Cooper LA, Mate KS. The Quintuple Aim for Health Care Improvement: A New Imperative to Advance Health Equity. *JAMA.* 2022 Feb;327(6):521–2.

- Resalt-Pereira M, Muñoz JL, Miranda E, Cuquerella V, Pérez A. Efecto de la fluidoterapia guiada por objetivos en cirugía colorrectal laparoscópica dentro de un protocolo de rehabilitación multimodal. *Rev Esp Anestesiol Reanim*. 2019;66(5):259–66.
- Cortés Barenque MF, Athié García JM, Morales Gámez JL, Alva Arroyo NV, Saucedo Moreno EM. Uso de la monitorización de profundidad anestésica. *Acta médica Grup Ángeles*. 2021;19(2):190–4.
- Fuica R, Krochek C, Weissbrod R, Greenman D, Freundlich A, Gozal Y. Reduced postoperative pain in patients receiving nociception monitor guided analgesia during elective major abdominal surgery: a randomized, controlled trial. *J Clin Monit Comput*. 2023 Apr;37(2):481–91.
- Marrero A, Méndez J, González G, Reboso J, León A, Martín M. Sistema De Control Adaptativo De Anestesia Basado En Lógica Difusa. *Actas las XXXVI Jornadas Automática [Internet]*. 2015;2–4. Available from: <http://www.ehu.es/documents/3444171/4484746/15.pdf>
- Gallifant J, Zhang J, del Pilar Arias Lopez M, Zhu T, Camporota L, Celi LA, et al. Artificial intelligence for mechanical ventilation: systematic review of design, reporting standards, and bias. *Br J Anaesth [Internet]*. 2022;128(2):343–51. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.09.025>
- Gram M, Erlenwein J, Petzke F, Falla D, Przemek M, Emons MI, et al.
- Prediction of postoperative opioid analgesia using clinical-experimental parameters and electroencephalography. *Eur J Pain*. 2017 Feb;21(2):264–77.
- Ben-Israel N, Kligler M, Zuckerman G, Katz Y, Edry R. Monitoring the nociception level: a multi-parameter approach. *J Clin Monit Comput*. 2013 Dec;27(6):659–68.
- Combes C, Meskens N, Rivat C, Vandamme J-P. Using a KDD process to forecast the duration of surgery. *Int J Prod Econ [Internet]*. 2008;112(1):279–93. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527307001466>
- Houliston BR, Parry DT, Merry AF. TADAA: Towards Automated Detection of Anaesthetic Activity. *Methods Inf Med*. 2011;50(5):464–71.
- Ferreira RS, Xavier RAC, Ancioto ASR. Virtual reality as a tool for basic and vocational education. *Rev Cient Gen Jose Maria Cordova*. 2021;19(33):223–41.
- Ramírez JJO, Figueroa LM, Diego AMS, Valencia G. Telementoring como parte de la comunicación en la educación médica, a partir de la realidad virtual y realidad aumentada. *ARTÍCULO DE REFLEXIÓN*.
- Rodríguez Chávez MH. Sistemas de tutoría inteligente y su aplicación en la educación superior. *RIDE Rev Iberoam para la Investig y el Desarro Educ*. 2021;11(22).
- Esther Melo Hanna GI, Girasol Acosta Mora III M, Fernanda Coto Goyón MI, Esther Melo Hanna G, Fernanda Coto Goyón M, Girasol Acosta Mora M. Educación y la Inteligencia Artificial (IA) Educación y la Inteligencia Artificial (IA) Education and Artificial Intelligence (AI) Educação e Inteligência Artificial (IA) Educación y la Inteligencia Artificial (IA). 2023;9:242–55. Available from: <http://dominodelasciencias.com/ojs/index.php/es/index>
- Barrera Rea VF, Guapi Mullo A. La importancia del uso de las plataformas virtuales en la educación superior. *Atlante Cuad Educ y Desarro*. 2018;(julio).
- Hernandez PR, Cruz DV. Los Asistentes virtuales basados en Inteligencia Artificial. *ReCIBE, Rev electrónica Comput Informática, Biomédica y Electrónica*. 2022;11(2):C1-11.
- Vidal Ledo MJ, Madruga González A, Valdés Santiago D. Inteligencia artificial en la docencia médica. *Educ Médica Super*. 2019;33(3).
- Barzallo S, Barzallo P. La Inteligencia Artificial en Medicina. *Ateneo*. 2019;21(2):81–94.
- Cotino Hueso L. Qué concreta transparencia e información de algoritmos e inteligencia artificial es la debida. *Revista Española de la Transparencia*. 2023. 17–63 p.
- Pinto Dos Santos D, Giese D, Brodehl S, Chon SH, Staab W, Kleinert R, et al. Medical students' attitude towards artificial intelligence: a multicentre survey. *Eur Radiol*. 2019 Apr;29(4):1640–6.

CITAR ESTE ARTICULO:

Cárdenas Alvear, M. E., Gutiérrez Romero, L. Ángel, Florez Zulbaran, L. C., & Pillajo Balladares, D. C. (2023). Avances y perspectivas de la inteligencia artificial (IA) en anestesiología: un análisis integral en medicina perioperatoria. *RECIMUNDO*, 7(4), 308-321. [https://doi.org/10.26820/recimundo/7.\(4\).oct.2023.308-321](https://doi.org/10.26820/recimundo/7.(4).oct.2023.308-321)

