

Inteligencia Artificial y la anestesia del futuro

Future anesthesia and artificial Intelligence

César Alejandro Martínez-de los Santos¹, Fernando Escudero-Gutiérrez¹, Fernanda Hernández-Morales¹, Alejandra Garza-Santos¹, Andrea Reyes-Gutiérrez¹, Fernando Cantú-Flores¹

¹ Departamento de Anestesiología Hospital Zambrano Hellion TecSalud; Programa Multicentrico de Especialidades Médicas de la Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud del Tecnológico de Monterrey. México.

Contribuciones de los autores:

Martínez-de los Santos César Alejandro: Diseño y concepción del estudio; generación de imágenes, revisión de literatura; análisis y discusión; redacción y autorización final del manuscrito. Sin conflictos de intereses.

Escudero-Gutiérrez Fernando Antonio: Diseño y concepción del estudio; generación de imágenes, revisión de literatura; análisis y discusión; redacción y autorización final del manuscrito. Sin conflictos de intereses.

Hernández-Morales Fernanda: Generación de imágenes, revisión de la literatura, análisis, discusión, redacción y autorización final del manuscrito. Sin conflictos de intereses.

Garza-Santos Alejandra: Generación de imágenes, revisión de la literatura, análisis, discusión, redacción y autorización final del manuscrito. Sin conflictos de intereses.

Reyes Gutierrez Andrea: Generación de imágenes, revisión de la literatura, análisis, discusión, redacción y autorización final del manuscrito. Sin conflictos de intereses.

Cantú-Flores Fernando: Generación de imágenes, revisión de la literatura, análisis, discusión, redacción y autorización final del manuscrito. Sin conflictos de intereses.

Financiamiento: Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este artículo.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Declaración de la IA Generativa y las tecnologías asistidas por IA en el proceso de escritura: Durante la preparación de este trabajo los autores utilizaron <https://www.bing.com/images/create> a fin de generar imágenes relacionadas con el objetivo de este manuscrito.

No se utilizó ninguna herramienta de IA para el análisis, revisión o redacción del manuscrito.

Fecha de recepción: 13 de octubre de 2023 / Fecha de aceptación: 12 de enero de 2024

ABSTRACT

The development of advanced Artificial Intelligence (AI) models raises various challenges and doubts about applications, benefits, limitations and possible complications of the use of this disruptive technology. Rapid advances in AI have led to analysis, diagnosis, management and prediction applications in anesthesiology in various areas, mainly: preoperative assessment and perioperative risk prediction; intraoperative monitoring and drug administration; and postoperative, allowing the anesthesiologist to adopt a proactive approach in the prevention, approach, resolution of crisis situations in the intraoperative and monitoring systems in the postoperative. The adaptation of AI algorithms and tools in anesthesia offers great potential that must be exploited under ethical precepts and considerations, in data analysis with predictive capabilities, optimization of strategies and automated assistance focused on patient safety.

Key words: Artificial intelligence, machine learning, anesthesia of the future, security; ethics.

RESUMEN

El desarrollo de avanzados modelos de Inteligencia Artificial (IA) plantea diversos retos y dudas sobre aplicaciones, beneficios, limitaciones y posibles complicaciones del uso de esta tecnología disruptiva. Los rápidos avances en IA han dado lugar a aplicaciones de análisis, diagnóstico,

cesarmartinez.md@tec.mx

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6440-1928>

ISSN: 0716-4076



manejo y predicción en anestesiología en diversas áreas, principalmente: evaluación preoperatoria y predicción de riesgos perioperatorios; monitorización intraoperatoria y administración de fármacos; y atención posoperatoria, permitiendo al anestesiólogo adoptar un enfoque proactivo en la prevención, abordaje, resolución de situaciones de crisis en el intraoperatorio y sistemas de seguimiento en el posoperatorio. La adaptación de algoritmos y herramientas de IA en anestesia ofrece gran potencial que deberá aprovecharse bajo preceptos y consideraciones éticas, en el análisis de datos con capacidades predictivas, optimización de estrategias y asistencia automatizada enfocados en la seguridad del paciente.

Palabras clave: Inteligencia artificial, aprendizaje automático, anestesia del futuro, seguridad; ética.

Introducción

A medida que los avances en inteligencia artificial (IA) continúan revolucionando diversas industrias, el campo de la anestesiología y medicina perioperatoria implementa y se beneficia cada vez más de las ventajas del uso y aplicaciones de esta tecnología disruptiva, a la vez que plantea dudas sobre posibles aplicaciones, beneficios, limitaciones y posibles complicaciones del uso de esta tecnología.

La integración de la IA ofrece un elevado potencial para mejorar la práctica de nuestra especialidad, brindando información valiosa y oportuna, capacidades predictivas y asistencia automatizada en el perioperatorio y en el seguimiento y evolución del paciente en el mediano y largo plazo. Esta revisión examina cómo la IA puede transformar la evaluación preoperatoria, el monitoreo intraoperatorio y la atención posoperatoria, al tiempo que enfatiza la importancia de mantener la experiencia humana y las consideraciones éticas y limitaciones en el uso de la tecnología.

Objetivo

Identificar estudios, definiciones, aplicaciones y posibles alcances de la IA en anestesiología. Explorar el impacto potencial actual y futuro de la IA en la anestesiología y medicina perioperatoria.

Materiales y Métodos

Revisión narrativa apegada a la guía PRISMA. Búsqueda sistemática de publicaciones en inglés revisadas por pares, en las bases de datos Medline, PubMed, Embase y Web of Science utilizando combinaciones de las palabras clave: inteligencia artificial, anestesiología, medicina perioperatoria, aprendizaje automático, tecnología, anestesia del futuro, seguridad y ética.

A fin de ejemplificar los principales datos encontrados, se generaron diversas imágenes traves de un generador de imágenes de IA (DALL-E Microsoft Bing <https://www.bing.com/images/create>) con palabras clave centradas en el futuro de las aplicaciones de la IA en la anestesiología, innovación, monitorización perioperatoria, simulación, entrenamiento y aprendizaje, dispositivos de vía aérea, seguridad y predicción de riesgos.

Inteligencia Artificial

La integración de la IA y el aprendizaje automatizado, representa la próxima frontera en la atención anestésica, con el potencial de mejorar aún más la eficiencia y la seguridad, por lo

que, al igual que el resto de especialidades, profesionales de la anestesiología en todo el mundo investigan cómo la IA puede impactar positivamente en este campo[1],[2].

El concepto de IA fue acuñado por primera vez en 1956 por John McCarthy; actualmente, su estudio se divide en subtipos como el aprendizaje automático (machine learning-ML), procesamiento de lenguaje, visión artificial, redes neuronales (neural networks), lógica difusa (fuzzy logic) y aprendizaje profundo (deep learning), que permite a las máquinas la capacidad de aprendizaje automático mediante reconocimiento de objetos, palabras e imágenes, análisis e integración de datos, asociación y razonamiento, resolución de problemas, realizar predicciones y toma de decisiones basadas en aprendizaje a través de avanzados algoritmos[1]-[3] (Figuras 1 y 2).

Los rápidos avances en IA han dado lugar a aplicaciones de análisis, diagnóstico, manejo y predicción en anestesiología centrándose en tres áreas centrales: evaluación preoperatoria y predicción de riesgos perioperatorios, monitorización intraoperatoria y atención posoperatoria, permitiendo al anestesiólogo adoptar un enfoque proactivo en la prevención, abordaje, resolución de problemas clínicos y sistemas de apoyo a las decisiones clínicas en situaciones de crisis[1]. Uno de los principales beneficios del uso de la IA en anestesiología, es identificar correlaciones y patrones que pudieran ser imperceptibles para la cognición humana y permitir al anestesiólogo concentrarse en la evaluación general y la toma de decisiones[3] (Figura 3).

El objetivo principal actual del estudio de la IA en anestesia es mejorar el manejo clínico prediciendo con precisión posibles complicaciones y sugiriendo estrategias terapéuticas óptimas en tiempo real[4]. La investigación actual en medicina perioperatoria esta centrada principalmente en administración automática de anestésicos, también conocida como anestesia de circuito cerrado[5], modelos que puedan estimar con precisión la profundidad de la anestesia y emersión[6], predicción de vía aérea intubación endotraqueal difícil[7], hipotensión perioperatoria, complicaciones posoperatorias, como delirio posoperatorio[8], medicina transfusional perioperatoria y predicción del riesgo de hemorragia[9] (Tabla 1).

Evaluación preoperatoria y predicción de riesgos

Los algoritmos de IA pueden analizar extensas cantidades de datos de pacientes, incluidos registros médicos, resultados de laboratorio, monitoreo hemodinámico, ventilatorio, de la profundidad de inconsciencia y control nociceptivo, imágenes e información clínica y genética, para generar modelos predictivos. Al utilizar diversas técnicas de aprendizaje automático, aplicaciones robóticas, visión por computadora y enfoques de realidad aumentada, la IA puede permitir evaluar mejor los fac-

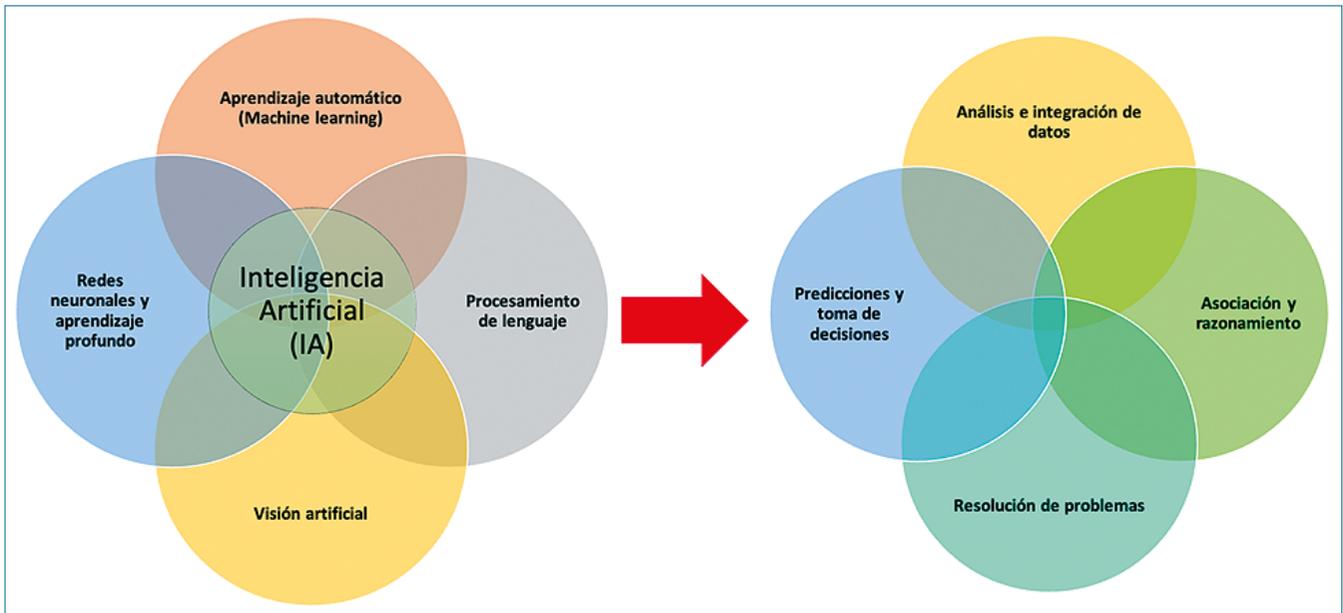


Figura 1. Esquema de Venn de subtipos de Inteligencia Artificial y posibles aplicaciones.



Figura 2. Asociación de aprendizaje automático de Inteligencia Artificial (IA) y monitoreo en anestesia y medicina perioperatoria.



Figura 3. Integración del análisis y predicción de riesgos en anestesia y medicina perioperatoria para la toma de decisiones.

tores de riesgo del paciente, predecir complicaciones y personalizar los planes de abordaje y manejo[1]. Esta predicción de riesgos habilitada por IA puede mejorar la selección de pacientes, optimizar las estrategias de tratamiento y mejorar la seguridad del paciente, permitiendo al anesmiólogo centrarse en el análisis general y la toma de decisiones[3].

La integración y el análisis de datos mediante monitoreo remoto con tecnología portátil de pacientes críticos, permitirán la modificación de manejo terapéutico y predicción de eventos

catastróficos. El uso de telemedicina en el perioperatorio permitirá una valoración preoperatoria incluida la evaluación de la vía aérea, evaluación de variables vitales, soporte y recomendaciones de optimización preoperatoria, manejo en el intraoperatorio y seguimiento de pacientes en el posoperatorio a distancia en entornos de difícil acceso o con recursos limitados, así como un adecuado seguimiento de la evolución de los pacientes, lo que generará y retroalimentará bases de datos cada vez más robustas para su análisis estadístico continuo mediante IA[10] (Figura 4).

Tabla 1. Posibilidades actuales y futuras de manejo en anestesiología y medicina perioperatoria

Posibilidades de manejo mediante IA	Referencia
Evaluación y planeación preoperatoria	2, 8, 10, 11
Vigilancia y monitoreo anestésico intraoperatorio. Prevención de complicaciones, dosificación farmacológica y predicción de respuesta	2, 3, 8, 9, 10
Detección temprana de complicaciones. Cuidados postoperatorios en recuperación y unidad de cuidados intensivos	2, 3, 8, 9, 10
Manejo del dolor	8, 9, 10
Logística en el quirófano	8, 9
Educación, simulación y entrenamiento	23, 24, 34
Diseño de nuevas herramientas en evaluación y manejo de la vía aérea	7, 23, 30, 35, 36, 37
Guía visual para procedimientos invasivos	8, 9, 10, 24
Predicción de eventos, riesgos y mortalidad	9, 12, 13, 16, 17, 18
Investigación futura. Aprendizaje automático supervisado y no supervisado	9, 12, 16, 18



Figura 4. Integración de monitoreo remoto en la evaluación preoperatoria, predicción de riesgos y seguimiento posoperatorio.

Monitoreo y manejo Intraoperatorio (IO)

A través de diversos algoritmos predictivos es posible identificar factores de riesgo específicos para pronosticar respuestas del paciente a la anestesia. Los sistemas de monitoreo basados en IA pueden analizar continuamente los signos vitales del paciente, datos intraoperatorios y respuestas fisiológicas en tiempo real, al integrar estos flujos de datos, los algoritmos de IA pueden detectar anomalías, predecir eventos adversos y alertar a los anestesiólogos sobre posibles complicaciones, lo que permite a los médicos tomar medidas preventivas y proactivas, así como decisiones clínicas mediante recomendaciones específicas para el paciente en tiempo real basadas en datos del paciente y evidencia científica[4],[5].

Se espera que la gran capacidad del aprendizaje automatizado de aumentar la capacidad predictiva mejore cada vez más conforme se generen y analicen cada vez más y mejores datos; en el intraoperatorio, diversos estudios analizan la posibilidad de predecir depresión respiratoria durante la sedación consciente, mortalidad hospitalaria posoperatoria[11]-[13], predecir la tasa de recuperación del bloqueo neuromuscular[14], episodios de hipotensión postinducción o durante anestesia espinal[15]-[17]. La IA puede predecir la posibilidad de vía aérea difícil (VAD) y plantear alternativas de manejo de la vía aérea; ayudar en la dosificación y titulación precisa de fármacos hipnóticos, opioides y bloqueadores neuromusculares mediante sistemas inteligentes de circuito cerrado, evaluación de la profundidad de inconsciencia, prevención y manejo de la antinocicepción y del dolor; fluidoterapia; identificar posibles interacciones farmacológicas, alergias y comorbilidades, detectar signos tempranos de deterioro en diferentes escenarios postanestésicos y minimizar el riesgo de eventos adversos, a la vez que predice la estancia posoperatoria, otorga recomendaciones de manejo de cuidados críticos pre y posoperatorios y ayuda con la logística de quirófano[18],[19] (Figura 5).

Existen además, sistemas robóticos en anestesia que se pueden agrupar en robots cognitivos, farmacológicos y mecánicos[20]. Los robots cognitivos preoperatorios se utilizan para la detección de hallazgos anormales de laboratorio preoperatorios, seguimiento de listas de verificación y asegurando el cumplimiento de dosificación de fármacos con horarios y alarmas inteligentes[21]. Los robots farmacológicos son dispositivos que procesan múltiples datos clínicos y de bioseñales recolectados continuamente de hipnosis, analgesia, relajación muscular y otros signos vitales para, administrar la dosis de anestesia adecuada en función de las necesidades individuales del paciente[20].

El aprendizaje automático mediante IA, potencialmente permitirá guiar nuestra práctica diaria y establecer escalas de deterioro y predicción de alteraciones hemodinámicas, lo que podría determinar estancias hospitalarias más cortas y puntajes de dolor mejorados, reducción de complicaciones, mortalidad y la morbilidad asociadas a la anestesia[11],[12].

La integración e intercomunicación entre monitores y dispositivos de dosificación farmacológica con evaluación de tendencias de signos vitales y recomendaciones de manejo, evaluación



Figura 5. Evaluación y monitoreo neurológico y hemodinámico mediante realidad virtual en el intraoperatorio.

de imágenes, resultados, transferencia, gestión de datos y generación de algoritmos automatizados evaluados siempre por expertos en base a una población con características específicas y generar mejores estadísticas de seguridad con respecto a la morbilidad en anestesia, mejoras en protocolos, educación y análisis de datos que harán que la anestesia sea cada vez más segura[4].

Sin embargo, se debe recordar que la seguridad es primordial, múltiples componentes del sistema de circuito cerrado pueden provocar fallos del software, mientras que la entrada de datos incorrecta puede provocar fallo del sistema. Controles de seguridad, posibilidad de anular el sistema y retorno al modo totalmente automatizado son consideraciones de seguridad importantes. Los casos extremos están definidos como escenarios en los que la IA es incapaz de funcionar de la manera esperada, generalmente en un caso raro. En esta situación, los humanos son capaces de actuar y responder adecuadamente, incluso en un caso complejo[4],[5].

Por otro lado, la experiencia clínica con robots mecánicos en anestesia es limitada y sus usos se han propuesto para intubación traqueal o para realizar bloqueos de nervios periféricos, sin embargo, su uso, la experiencia y la destreza aun son limitados. Las redes e interconexión de dispositivos fijos y móviles se pueden utilizar para mejorar la logística y la comunicación en el quirófano, entre máquinas de anestesia, monitores de pacientes y otros dispositivos médicos[11],[12].

Cuidado posoperatorio

Después de la cirugía, la IA puede desempeñar un papel crucial en el seguimiento de los pacientes durante la fase de recuperación. Los algoritmos de aprendizaje automático pueden analizar datos posoperatorios, como signos vitales, puntajes de dolor y uso de medicamentos, para identificar tendencias y pre-

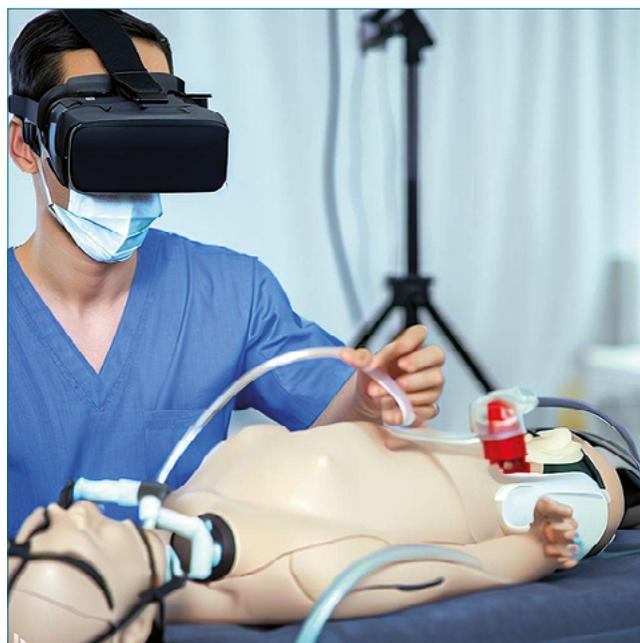


Figura 6. Uso de realidad virtual e Inteligencia Artificial en simulación y aumento de habilidades.

decir los resultados de los pacientes. Los sistemas habilitados para IA pueden señalar posibles complicaciones, lo que permite una intervención temprana y una gestión proactiva. Además, la IA puede facilitar planes personalizados de manejo del dolor al considerar factores específicos del paciente y optimizar la dosis de analgésicos[20]-[22].

En la unidad de cuidados intensivos, diversos estudios de bases de datos de la UCI han utilizado modelos de aprendizaje automático para predecir la morbilidad, destete por ventilación, deterioro clínico, mortalidad, reingreso y detección temprana de sepsis[11].

Educación

En cuanto a educación, el impacto de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en la práctica de la anestesiología será fundamental. La evaluación, fortalecimiento de factores humanos y disminución de errores mediante la capacitación continua virtual o presencial mediante sistemas de simulación, tecnología de realidad virtual, redes sociales y aplicaciones móviles serán fundamentales para mejorar estándares clínicos y seguridad del paciente[23].

Las simulaciones virtuales y programas de formación mediante tecnología de realidad aumentada para mejorar habilidades y eficiencia del aprendizaje posibilitarían la identificación precisa de estructuras anatómicas para procedimientos como manejo adecuado de la vía aérea, intubación traqueal, bloqueos regionales y accesos vasculares[24] (Figura 6).

Limitaciones, experiencia humana e implicaciones éticas

Si bien la IA representa una gran promesa en anestesiología, las preocupaciones éticas deben considerarse cuidadosamente, el potencial riesgo de sesgo de infra o sobrediagnósticos y sus

consecuentes mejor por la aplicación de datos y tomas de decisiones en poblaciones diferentes a las estudiadas, podría afectar de manera desproporcionada a grupos específicos de pacientes, por lo que preservación de la experiencia humana es primordial[25],[26].

LA IA no debe progresar sin una práctica sólida y regulaciones que priorice a los pacientes y sus privacidad. Por lo que es importante garantizar la privacidad y transparencia de datos, así como generar un marco regulatorio de su uso y aplicación, determinación de aspectos legales y éticos, recopilación continua de datos sólidos, evaluación y validación de resultados, reentrenamiento de algoritmos y auditorías periódicas de los sistemas de IA para garantizar su funcionamiento seguro y óptimo[2].

El sistema de apoyo a la decisión clínica (CDSS) esta basado en el conocimiento con algoritmos incorporados, diseñado esencialmente para proporcionar apoyo cognitivo al anestesiólogo, sin ser autónomas en ejecución, por ello, la IA disponible actualmente se centra en proporcionar CDSS, no en reemplazar el criterio del médico[3].

Los anestesiólogos debemos mantener un equilibrio entre aplicar las recomendaciones basadas en IA y el ejercicio de su juicio clínico. La transparencia, mapeo y validación sólida de los algoritmos de IA son cruciales para generar confianza dentro de la comunidad médica y garantizar la seguridad en su uso. Es importante permanecer atentos para reconocer las limitaciones de la IA, entendiendo que es una herramienta para facilitar nuestras habilidades en lugar de reemplazarlas[18].

A fin de aumentar la credibilidad de los sistemas basados en IA, es esencial comprobar la veracidad de los datos, establecer tasas de error predictivo, prevenir sesgos y garantizar la transparencia, explicabilidad y transferencia de los algoritmos de IA que fortalezcan los mapas y árboles de decisión de los sistemas[26].

La seguridad del paciente es un principio fundamental de la atención anestésica en todo el mundo. Sin embargo, la mejora de la seguridad del paciente bajo anestesia no se ha obtenido de manera uniforme en todo el mundo. Existen diferencias únicas en los resultados de seguridad del paciente entre países y regiones del mundo. Estas diferencias a menudo están relacionadas con factores como la disponibilidad, el apoyo y el uso de recursos de atención médica, personal capacitado, esfuerzos de recolección de datos de resultados de seguridad del paciente, estándares de atención y protocolos de seguridad y trabajo en equipo en los centros de atención médica, por lo que es importante garantizar el acceso equitativo a la investigación, desarrollo, capacitación y uso de los sistemas de IA a nivel mundial[22].

Es importante continuar incrementando nuestras bases de datos, mediante un enfoque colaborativo con especialidades afines a la medicina perioperatoria. La práctica de la anestesiología moderna requiere que el anestesiólogo recopile, procese, analice e interprete bancos de datos y establezca algoritmos de manejo para cada paciente. La evaluación y auditoría de las fuentes, viabilidad y la estandarización del procesamiento de los datos, es fundamental, por lo que la colaboración entre proveedores de atención sanitaria, industria médica y farmacológica, pacientes, expertos en IA y organizaciones de normatividad que permitan el cumplimiento de altos estándares de protección de datos y desarrollo e implementación de marcos regulatorios, legales y éticos para la IA en anestesiología y medicina perioperatoria será esencial[2].

Anestesiología en el futuro

La anestesiología ha hecho que la mortalidad intraoperatoria sea un evento raro, pero la muerte perioperatoria a los 30 días sigue siendo una de las principales causas de mortalidad en el mundo, por lo que existe una gran oportunidad para identificar riesgos, anticipar y prevenir estas complicaciones mediante la optimización perioperatoria y la IA podría ayudarnos en este sentido[11],[12].

El diseño de dispositivos inteligentes, seguros, asequibles, portátiles con impresiones 3D, que permitan una inserción temprana y rápida y que utilicen algoritmos avanzados de IA para proporcionar un manejo personalizado con análisis facial automatizado, herramientas de predicción, combinación de indicadores y sistemas de puntuación para la evaluación y predicción de vía aérea difícil, así como la generación automática de datos y actualización de algoritmos de manejo que genere un plan de manejo de la vía aérea estructurado e individualizado, permitirá disminuir riesgos y complicaciones en el manejo de la vía aérea[28].

En un futuro no tan distante podremos contar con herramientas y estudios de imagen portátiles de evaluación, predicción y planeación, dispositivos de intubación portátiles con conexión inalámbrica a smartphones y ordenadores portátiles y de visualización que alimenten bases de datos y mejoren nuestros algoritmos de manejo, pero en particular que nos permitan la confirmación de intubación, seguridad de la vía aérea y objetivos optimos de ventilación. Los videoendoscopios inalámbricos robóticos y portátiles que guíen la intubación en base al reconocimiento de imágenes reales con visualización para diversos operadores y que además puedan prevenir la intubación esofágica no reconocida y confirmar la posición correcta del tubo endotraqueal o mascarilla serán parte de nuestra realidad[28]-[30] (Figura 7).

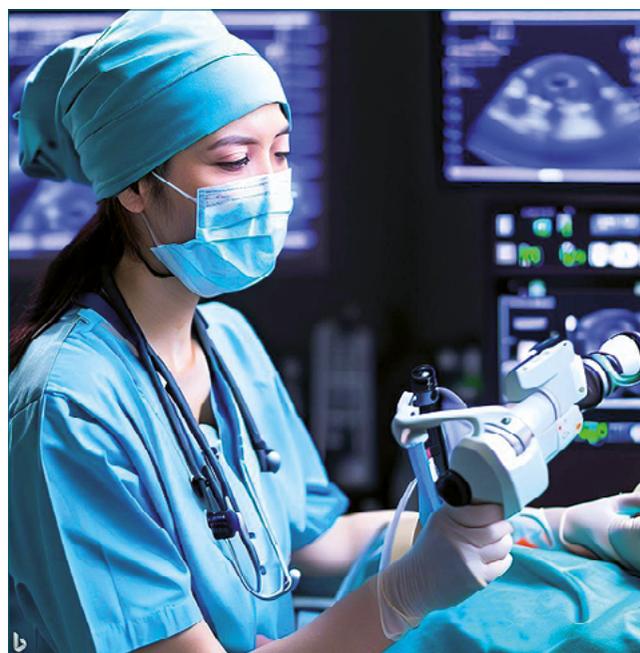


Figura 7. Evaluación, predicción y manejo de la vía aérea mediante nuevos dispositivos.

Resulta fundamental la generación de estrategias que permitan guiar planes futuros del manejo anestésico y a la vez el análisis y fortalecimiento de bases de datos que provean cada vez más información, detección de problemas y generación de alertas para ayudar a guiar los protocolos de mejores prácticas, formación y entrenamiento a fin de mejorar los resultados globales de nuestros pacientes. Por ello, nuestro aporte en investigación, capacitación, cuestionamientos, información, reporte de dificultades, complicaciones, resultados, evaluación, alternativas y diseño serán fundamentales para un avance acelerado en la materia[13].

Debemos considerar que en el futuro nuestra población será diferente, más longeva o con patologías diferentes a las actuales, dificultades en el acceso a los servicios de salud y mayor volumen de procedimientos quirúrgicos, por lo que el futuro de la anestesia no dependerá solo del avance tecnológico y de la IA, sino de nuestro crecimiento conjunto con dicha evolución así como nuestra capacidad de adaptación y los cambios de paradigmas que podamos generar. Por ello, será fundamental contar con herramientas de aprendizaje y referencia en línea que nos permitan un rápido acceso a recursos bibliográficos, de cálculo de dosis, guías, algoritmos y alternativas de manejo, con el objetivo de ampliar la atención anestésica bajo parámetros óptimos de seguridad[27].

Las posibilidades pueden ser ilimitadas, pero la adopción generalizada de la IA aun está lejos de ser una realidad. Aumentar la accesibilidad, definir posibles aplicaciones y mejor comprensión y el uso apropiado de estas herramientas, permitirá que su uso sea más frecuente en la medida que se desarrollen nuevas técnicas de identificación de estructuras, asequibilidad, y aplicaciones, por lo que es importante la generación de datos validados para su adecuado procesamiento.

Conclusiones

La integración de la IA en la evaluación preoperatoria, el monitoreo intraoperatorio y la atención posoperatoria tiene el potencial de transformar la anestesiología, mejorando la seguridad del paciente, los resultados quirúrgicos y la utilización de recursos. Al adoptar la IA como una herramienta de apoyo con un enfoque colaborativo, los anestesiólogos pueden navegar hacia el futuro con capacidades predictivas y asistencia automatizada generando mayor eficiencia, precisión y mejor atención al paciente.

A pesar del creciente interés científico, se necesitan más investigaciones y validaciones para comprender completamente los beneficios, limitaciones e implicaciones éticas actuales y futuras de la aplicación de la IA en la práctica clínica de la anestesiología. Es fundamental garantizar que la seguridad y la privacidad del paciente no se vean comprometidas. La IA puede generar análisis, predicción de eventos y riesgos, sin embargo, el juicio clínico en la toma de decisiones seguirá siendo imprescindible.

Referencias

- Cascella M, Tracey MC, Petrucci E, Bignami EG. Exploring Artificial Intelligence in Anesthesia: A Primer on Ethics, and Clinical Applications. *Surgeries (Basel)*. 2023;4(2):264–74. <https://doi.org/10.3390/surgeries4020027>.
- Hashimoto DA, Witkowski E, Gao L, Meireles O, Rosman G. Artificial Intelligence in Anesthesiology: Current Techniques, Clinical Applications, and Limitations. *Anesthesiology*. 2020 Feb;132(2):379–94. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002960> PMID:31939856
- Singh M, Nath G. Artificial intelligence and anesthesia: A narrative review. *Saudi J Anaesth*. 2022;16(1):86–93. https://doi.org/10.4103/sja.sja_669_21 PMID:35261595
- Connor CW. Artificial Intelligence and Machine Learning in Anesthesiology. *Anesthesiology*. 2019 Dec;131(6):1346–59. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002694> PMID:30973516
- Miyaguchi N, Takeuchi K, Kashima H, Morita M, Morimatsu H. Predicting anesthetic infusion events using machine learning. *Sci Rep*. 2021 Dec;11(1):23648. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03112-2> PMID:34880365
- Afshar S, Boostani R, Sanei S. A Combinatorial Deep Learning Structure for Precise Depth of Anesthesia Estimation From EEG Signals. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2021 Sep;25(9):3408–15. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2021.3068481> PMID:33760743
- Cuendet GL, Schoettker P, Yüce A, Sorci M, Gao H, Perruchoud C, et al. Facial Image Analysis for Fully Automatic Prediction of Difficult Endotracheal Intubation. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2016 Feb;63(2):328–39. <https://doi.org/10.1109/TBME.2015.2457032> PMID:26186767
- Zhao H, You J, Peng Y, Feng Y. Machine Learning Algorithm Using Electronic Chart-Derived Data to Predict Delirium After Elderly Hip Fracture Surgeries: A Retrospective Case-Control Study. *Front Surg*. 2021 Jul;8:634629. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.634629> PMID:34327210
- Walczak S, Velanovich V. Prediction of perioperative transfusions using an artificial neural network. *PLoS One*. 2020 Feb;15(2):e0229450. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229450> PMID:32092108
- Bridges KH, McSwain JR, Wilson PR. To Infinity and Beyond: The Past, Present, and Future of Tele-Anesthesia. *Anesth Analg*. 2020 Feb;130(2):276–84. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004346> PMID:31397698
- Lee CK, Hofer I, Gabel E, Baldi P, Cannesson M. Development and Validation of a Deep Neural Network Model for Prediction of Postoperative In-hospital Mortality. *Anesthesiology*. 2018 Oct;129(4):649–62. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002186> PMID:29664888
- Bihorac A, Ozrazgat-Baslanti T, Ebadi A, Motaei A, Madkour M, Pardalos PM, et al. MySurgeryRisk: Development and Validation of a Machine-learning Risk Algorithm for Major Complications and Death After Surgery. *Ann Surg*. 2019 Apr;269(4):652–62. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002706> PMID:29489489
- Hofer IS, Lee C, Gabel E, Baldi P, Cannesson M. Development and validation of a deep neural network model to predict postoperative mortality, acute kidney injury, and reintubation using a single feature set. *NPJ Digit Med*. 2020 Apr;3(1):58. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0248-0> PMID:32352036
- Santanen OA, Svartling N, Haasio J, Paloheimo MP. Neural nets and prediction of the recovery rate from neuromuscular block. *Eur J Anaesthesiol*. 2003 Feb;20(2):87–92. <https://doi.org/10.1097/00003643-200302000-00001> PMID:12622489
- Lin CS, Chang CC, Chiu JS, Lee YW, Lin JA, Mok MS, et al.

- Application of an artificial neural network to predict postinduction hypotension during general anesthesia. *Med Decis Making*. 2011;31(2):308–14. <https://doi.org/10.1177/0272989X10379648> PMID:20876347
16. 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. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002374> PMID:30074930
 17. Lin CS, Chiu JS, Hsieh MH, Mok MS, Li YC, Chiu HW. Predicting hypotensive episodes during spinal anesthesia with the application of artificial neural networks. *Comput Methods Programs Biomed*. 2008 Nov;92(2):193–7. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2008.06.013> PMID:18760495
 18. Arcario Mark. The Future is Now: How Advances in Technology are Already Affecting Anesthesiology Practice. *The Daily Dose of the IARS* <https://iars.org/2021-the-daily-dose/the-future-is-now-how-advances-in-technology-are-already-affecting-anesthesiology-practice/>
 19. Seger C, Cannesson M. Recent advances in the technology of anesthesia. *F1000Res*. 2020 May 18;9:F1000 Faculty Rev-375. <https://doi.org/10.12688/f1000research.24059.1>.
 20. Lee HC, Ryu HG, Chung EJ, Jung CW. Prediction of Bispectral Index during Target-controlled Infusion of Propofol and Remifentanyl: A Deep Learning Approach. *Anesthesiology*. 2018 Mar;128(3):492–501. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000001892> PMID:28953500
 21. Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial Intelligence in Surgery: promises and Perils. *Ann Surg*. 2018 Jul;268(1):70–6. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002693> PMID:29389679
 22. Warner MA, Arnal D, Cole DJ, Hammoud R, Haylock-Loor C, Ibarra P, et al. Anesthesia Patient Safety: Next Steps to Improve Worldwide Perioperative Safety by 2030. *Anesth Analg*. 2022 Jul;135(1):6–19. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000006028> PMID:35389378
 23. Ravindran B. Innovations in the Management of the Difficult Airway: A Narrative Review. *Cureus*. 2023 Feb;15(2):e35117. <https://doi.org/10.7759/cureus.35117> PMID:36945260
 24. Yamak Altinpulluk E, Turan A. Future in regional anesthesia: new techniques and technological advancements. *Minerva Anestesiol*. 2021 Jan;87(1):85–100. <https://doi.org/10.23736/S0375-9393.20.14791-6> PMID:32959636
 25. Park Y, Hu J. Bias in Artificial Intelligence: basic Primer. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2023 Mar;18(3):394–6. <https://doi.org/10.2215/CJN.0000000000000078> PMID:36723176
 26. Amann J, Blasimme A, Vayena E, Frey D, Madai VI; Precise4Q consortium. Explainability for artificial intelligence in healthcare: a multidisciplinary perspective. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2020 Nov;20(1):310. <https://doi.org/10.1186/s12911-020-01332-6> PMID:33256715
 27. Schweitzer M. Anesthesiology's Future with Specialists in Population Health. *Anesthesiol Clin*. 2018 Jun;36(2):309–20. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2018.01.008> PMID:29759290
 28. Vasconcelos Pereira A, Simões AV, Rego L, Pereira JG. New technologies in airway management: A review. *Medicine (Baltimore)*. 2022 Dec;101(48):e32084. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000032084> PMID:36482552
 29. Bhaskar SB. Newer airway devices: future promising? *Indian J Anaesth*. 2011 Sep;55(5):439–41. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.89858> PMID:22174457
 30. Chrimes N, Higgs A, Hagberg CA, Baker PA, Cooper RM, Greif R, et al. Preventing unrecognised oesophageal intubation: a consensus guideline from the Project for Universal Management of Airways and international airway societies. *Anaesthesia*. 2022 Dec;77(12):1395–415. <https://doi.org/10.1111/anae.15817> PMID:35977431