

Inteligencia artificial en el abordaje clínico del cáncer de pulmón en el continuum asistencial: revisión crítica

Artificial Intelligence in the Clinical Management of Lung Cancer Across the Continuum of Care: A Critical Review of Current Evidence

Ramos-Zaga Fernando¹

Resumen

Objetivos: analizar el impacto de la inteligencia artificial en el abordaje integral del cáncer pulmonar, evaluando sus aplicaciones diagnósticas, terapéuticas y pronósticas, así como las barreras para su implementación clínica en el periodo 2021-2025. **Métodos:** se realizó una revisión narrativa sobre estudios basados en el uso de algoritmos aplicados a la prevención personalizada, el cribado automatizado, el diagnóstico de precisión y la estratificación pronóstica individualizada. **Resultados:** se identificaron beneficios potenciales como mayor sensibilidad en detección temprana y optimización de decisiones terapéuticas, junto con limitaciones asociadas a opacidad algorítmica, sesgos en datos, falta de validación robusta e inequidad en el acceso. **Conclusiones:** la integración de inteligencia artificial en oncología torácica requiere combinar juicio clínico, capacidad computacional y gobernanza ética para lograr un impacto equitativo y sostenible.

Palabras claves: cáncer de pulmón, cribado, diagnóstico de precisión, equidad sanitaria, inteligencia artificial.

Abstract

Objective: to analyze the impact of artificial intelligence on the comprehensive management of lung cancer, assessing its diagnostic, therapeutic, and prognostic applications, as well as the barriers to its clinical implementation during the period 2021–2025. **Methods:** A narrative review was conducted of studies applying algorithms to personalized prevention, automated screening, precision diagnosis, and individualized prognostic stratification. **Results:** Potential benefits identified include greater sensitivity for early detection and optimization of therapeutic decision-making, along with limitations such as algorithmic opacity, data bias, lack of robust validation, and inequitable access. **Conclusions:** The integration of artificial intelligence into thoracic oncology requires the combination of clinical judgment, computational capacity, and ethical governance to achieve and equitable and sustainable impact.

Keywords: lung cancer, screening, precision medicine, health equity, artificial intelligence.

Recibido el

09 de agosto de 2025

Aceptado

18 de diciembre de 2025

¹Universidad Privada del Norte, Peru.

<https://orcid.org/0000-0001-6301-9460>

*Correspondencia:

Fernando Ramos-Zaga

Correo electrónico:

fernandozaga@gmail.com

DOI:

<https://doi.org/10.47993/gmb.v48i2.1134>

El cáncer de pulmón continúa siendo la principal causa de mortalidad por neoplasias a nivel mundial, con un impacto particularmente devastador reflejado en las cifras del proyecto GLOBOCAN, que estiman alrededor de 1.8 millones de muertes anuales atribuibles¹. A pesar de los avances diagnósticos y terapéuticos alcanzados en las últimas décadas, persisten múltiples limitaciones estructurales en los enfoques convencionales, los cuales han mostrado una eficacia desigual frente a la complejidad biológica de los tumores pulmonares.

Desde una perspectiva diagnóstica, los esquemas tradicionales muestran una capacidad limitada para captar la heterogeneidad molecular y la complejidad clonal que caracterizan al carcinoma pulmonar, especialmente en sus fases más tempranas. Esta insuficiencia se traduce en evaluaciones incompletas que comprometen la precisión pronóstica y restringen el diseño de estrategias terapéuticas personalizadas². Al abordar el tratamiento, las terapias estandarizadas tienden a enfocarse en los clones tumorales dominantes, ignorando subpoblaciones resistentes que, aunque inicialmente minoritarias, poseen un alto potencial de supervivencia y recurrencia tumoral, como lo han evidenciado estudios recientes³.

Tal dificultad estructural no puede desligarse del carácter profundamente heterogéneo del cáncer pulmonar. La heterogeneidad intratumoral en el carcinoma no microcítico de pulmón (NSCLC) facilita la capacidad adaptativa del tumor, promueve su diseminación metastásica y permite la evasión inmunológica, todo lo cual plantea desafíos importantes para el diseño de terapias dirigidas eficaces⁴. A esta variabilidad se suma una complejidad genética de tipo espacial y temporal que conduce a la aparición de mutaciones en ramas evolutivas divergentes, generando resistencia terapéutica y favoreciendo la progresión metastásica⁵. La heterogeneidad no se limita al interior del tumor, sino que también se manifiesta entre y dentro de los subtipos histológicos, como se ha observado en las variantes moleculares del carcinoma microcítico (SCLC), cuyas diferencias minan la aplicabilidad de enfoques terapéuticos estandarizados⁶. Por otra parte, el uso predominante de datos

de secuenciación masiva para la identificación de biomarcadores suele excluir subclones raros, lo cual reduce la capacidad predictiva de los modelos actuales y limita el alcance de las terapias dirigidas⁷.

Frente a estas limitaciones, la Inteligencia Artificial (IA) ha emergido como una herramienta de transformación radical en la medicina contemporánea. Su desarrollo ha transitado desde modelos basados en reglas hasta estructuras complejas de aprendizaje profundo, permitiendo simular procesos cognitivos humanos mediante algoritmos adaptativos⁸. En el contexto del cáncer pulmonar, el aprendizaje automático ha demostrado una capacidad significativa para mejorar la precisión diagnóstica y optimizar los procesos clínicos. Los modelos de aprendizaje supervisado, como las redes Neuronales Convolucionales (CNN), han sido especialmente eficaces en el análisis de imágenes médicas, incrementando la sensibilidad y especificidad en la identificación de lesiones malignas⁹. Paralelamente, métodos de aprendizaje débilmente supervisado, tales como el aprendizaje por múltiples instancias y los Transformadores Visuales (ViTs), han ampliado la posibilidad de realizar predicciones precisas incluso en ausencia de grandes volúmenes de datos etiquetados, lo cual resulta particularmente útil en escenarios clínicos donde el etiquetado exhaustivo no es factible¹⁰.

Por su parte, los enfoques no supervisados, como el aprendizaje autosupervisado, han ofrecido soluciones innovadoras para la detección de patrones en conjuntos de datos no estructurados, contribuyendo a una mejora sustancial en la precisión diagnóstica sin depender de anotaciones humanas⁹. La arquitectura de los transformadores ha permitido, además, una fusión multimodal de datos provenientes de diferentes técnicas de imagen médica, mejorando la capacidad de diagnóstico a través de una integración más completa de la información clínica y radiológica¹⁰. Estos avances se inscriben en un proceso más amplio de incorporación de la IA en disciplinas como la radiología y la patología, donde el uso combinado de modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) y datos de imagen ha refinado sustancialmente la eficacia diagnóstica⁸. No menos relevante es el desarrollo de sistemas de IA generalista, los cuales buscan construir marcos integrales que consideren la complejidad del proceso oncológico en su conjunto, orientados a mejorar la toma de decisiones clínicas a través del análisis transversal de datos clínicos, genómicos e imagenológicos¹¹.

En este escenario de evolución acelerada, resulta indispensable mantener una mirada crítica y matizada frente a las promesas de la inteligencia artificial en oncología. La rápida expansión de modelos algorítmicos aplicados al cáncer pulmonar, junto con la falta de evaluaciones críticas que integren resultados recientes con avances previos, hace necesario analizar la evidencia disponible, ya que los desarrollos actuales modifican de manera continua la práctica clínica y generan incertidumbres sobre validez, seguridad y aplicabilidad real en escenarios asistenciales.

En ese marco, el objetivo de este estudio es analizar el impacto transformador de la inteligencia artificial en el abordaje integral del cáncer de pulmón, evaluando sus aplicaciones diagnósticas, terapéuticas y pronósticas, así como las barreras, metodológicas, sociales y regulatorias que condicionan su implementación clínica durante 2021 y 2025. Esta evaluación crítica es necesaria para garantizar una adopción ética, equitativa y clínicamente pertinente de tecnologías algorítmicas en un campo de alta complejidad biomédica.

Metodología

Se diseñó una revisión narrativa con el objetivo de examinar la emergencia e implementación de la inteligencia artificial en la oncología pulmonar. La búsqueda se enfocó en estudios publicados entre 2015 y 2024, consultando bases de datos especializadas como PubMed, Scopus, Web of Science e IEEE Xplore. Se utilizaron términos MeSH y palabras clave como *lung cancer*, *artificial intelligence*, *machine learning*, *deep learning*, *radiomics*, *precision oncology* y *clinical decision support systems*.

Fuentes de información

En la revisión se distinguieron dos tipos de fuentes según su naturaleza metodológica y propósito científico. Las fuentes primarias correspondieron a investigaciones originales que aplicaron modelos de inteligencia artificial en contextos clínicos de cáncer de pulmón, ya fuera en etapas de cribado, diagnóstico, pronóstico o tratamiento. En total se analizaron 16 fuentes primarias, que ofrecieron datos empíricos provenientes de ensayos clínicos, cohortes retrospectivas y estudios observacionales con aplicación directa de algoritmos.

Las fuentes secundarias, en cambio, incluyeron revisiones narrativas, metaanálisis, artículos de posicionamiento, guías metodológicas y documentos normativos que aportaron contexto conceptual, técnico o ético al fenómeno de estudio. Se consideraron 12 fuentes secundarias, seleccionadas por su relevancia en la discusión sobre integración de inteligencia artificial en oncología, validez metodológica y reconocimiento editorial.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos originales publicados en inglés o español, que aplicaran modelos de inteligencia artificial en cualquiera de las fases del manejo clínico del cáncer pulmonar, incluyendo cribado, diagnóstico, pronóstico, tratamiento y seguimiento. Solo se consideraron publicaciones con validez metodológica explícita, conforme a guías reconocidas como TRIPOD, CONSORT-AI o STARD-AI.

El análisis de contenido se realizó mediante una revisión de los textos incluidos, con evaluación estructurada de narrativas, identificación de patrones temáticos recurrentes y clasificación de hallazgos según su contribución al diagnóstico, tratamiento y pronóstico, utilizando una lectura crítica orientada a determinar coherencia metodológica, solidez de resultados y aplicabilidad clínica en el contexto de la oncología pulmonar.

Se excluyeron estudios sin revisión por pares, trabajos centrados en otros tipos de cáncer sin datos específicos sobre cáncer pulmonar y reportes con aplicaciones experimentales no validadas clínicamente.

La búsqueda inicial en Scopus, PubMed e IEEE Xplore arrojó un total de 141 registros, distribuidos de la siguiente manera: Scopus (47), PubMed (29) e IEEE Xplore (65). La amplitud de la recuperación refleja tanto la diversidad de aproximaciones como la creciente penetración de la inteligencia artificial en oncología pulmonar. Este volumen inicial incluyó una proporción considerable de duplicados y artículos de baja pertinencia, hallazgo que concuerda con lo descrito en revisiones sistemáticas previas en campos emergentes de la medicina digital.

La eliminación automática de duplicados mediante Zotero permitió excluir 21 registros, dejando 120 artículos únicos para la siguiente fase. Este procedimiento redujo sesgos derivados de la repetición bibliográfica y aseguró que cada estudio fuera evaluado una sola vez, conforme a las recomendaciones PRISMA 2020.

Posteriormente, el cribado de títulos y resúmenes condujo a la exclusión de 22 artículos, reduciendo la muestra a 98 documentos. Los principales motivos fueron: ausencia de aplicación clínica directa en cáncer pulmonar, carácter exclusivamente teórico, metodologías insuficientes o enfoques centrados en patologías distintas.

En la etapa de lectura de texto completo, se analizaron 98 estudios, de los cuales 6 no pudieron ser accedidos por limitaciones editoriales. Los 92 artículos restantes fueron evaluados con criterios predefinidos de pertinencia temática, calidad metodológica, descripción adecuada de población y consistencia en la aplicación de IA en el continuum asistencial del cáncer pulmonar.

Tras esta evaluación crítica, 64 estudios fueron excluidos por presentar resultados marginales, baja calidad metodológica o falta de aplicabilidad clínica. Finalmente, 28 artículos cumplieron con todos los criterios de inclusión y constituyen la base de la revisión narrativa que se presenta a continuación (Figura 1).

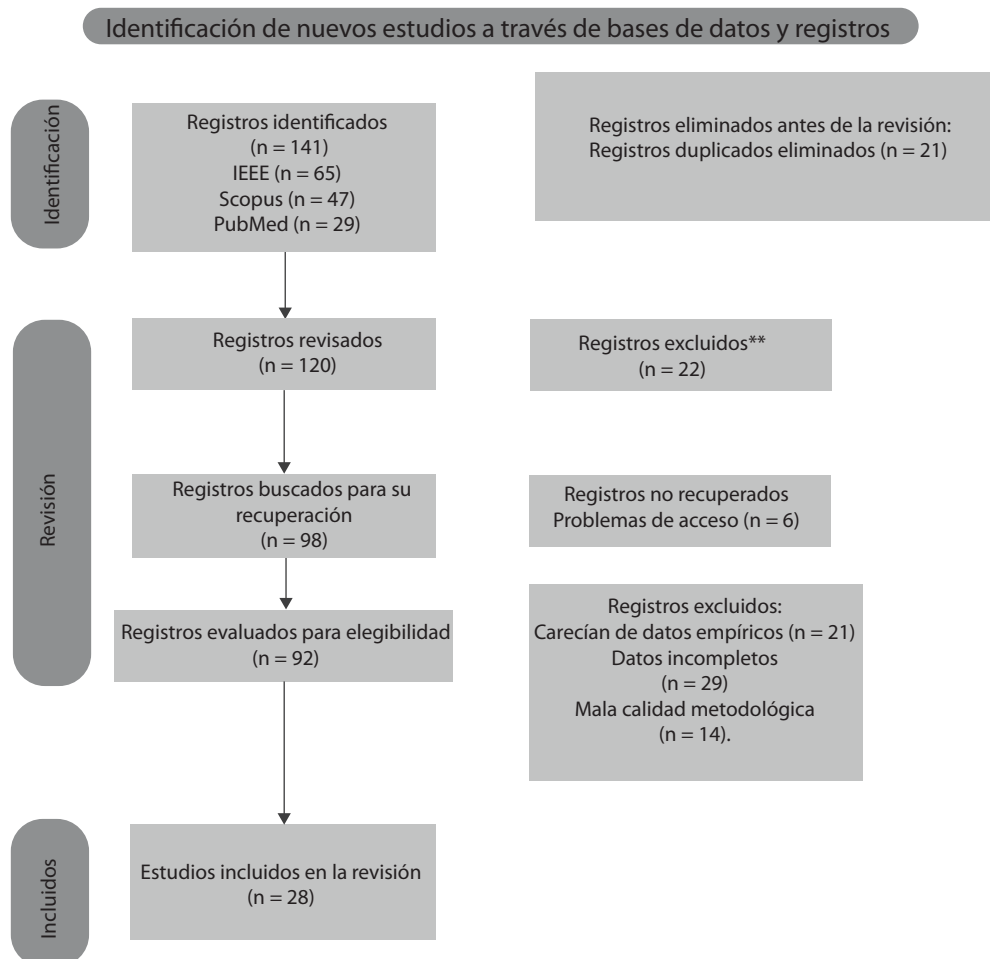


Figura 1. Page MJ, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372(71):5. doi:10.1136/bmj.n71.

Desarrollo

La inteligencia artificial a lo largo del continuum asistencial de la oncología pulmonar

La irrupción de la inteligencia artificial en la medicina oncológica, particularmente en el abordaje del cáncer de pulmón, representa un cambio paradigmático que no puede pasar desapercibido. Se ha documentado una evolución acelerada de sus aplicaciones, las cuales han comenzado a permear con creciente solidez las distintas fases del proceso clínico, desde la prevención hasta el seguimiento terapéutico, desafiando los límites tradicionales de la medicina basada en la experiencia individual del clínico¹². En la práctica, la inteligencia artificial ya colabora en la personalización de tratamientos mediante algoritmos que permiten optimizar las estrategias terapéuticas y vigilar la respuesta de los pacientes con un grado de precisión antes inalcanzable¹³. Del mismo modo, su implementación en el seguimiento longitudinal ha permitido anticipar recaídas o complicaciones a través de modelos predictivos, afinando así los esquemas de control posoperatorio o postratamiento¹⁰.

Uno de los territorios más fértiles para el despliegue de estas herramientas ha sido la prevención primaria, donde se observa una creciente integración de datos provenientes del exposoma digital y conductual. La capacidad de captar, a través de sensores ambientales y patrones de comportamiento, hábitos como el consumo de tabaco en tiempo real, abre una vía prometedora hacia la comprensión contextualizada de factores de riesgo¹⁴. Sin embargo, no puede ignorarse que la incidencia del cáncer pulmonar continúa modulada por patrones socioeconómicos que determinan tanto el acceso a recursos de salud como la prevalencia de hábitos nocivos, lo cual exige que cualquier aproximación preventiva sea sensible a tales disparidades¹⁵.

El esfuerzo por integrar determinantes genéticos y ambientales en modelos de riesgo ha ganado solidez gracias al uso de puntuaciones poligénicas potenciadas mediante algoritmos de aprendizaje automático. Estos modelos permiten diseñar estrategias preventivas personalizadas al contemplar predisposiciones genéticas individuales junto con exposiciones ambientales acumuladas¹⁶. No obstante, la eficacia de estas herramientas depende de la representatividad de las poblaciones que las nutren. Cuando los datos genómicos provienen de cohortes homogéneas, existe el riesgo de producir sesgos que limiten la aplicabilidad clínica de los modelos en poblaciones genéticamente diversas¹⁷.

El ámbito del cribado y la detección precoz, particularmente en el uso de tomografía computarizada de baja dosis, ha experimentado avances sustanciales con la implementación de algoritmos automatizados capaces de detectar nódulos pulmonares con una sensibilidad comparable o incluso superior a la de los métodos tradicionales. Aunque persisten limitaciones contextuales en casos atípicos, los resultados actuales son alentadores en términos de reducción de falsos positivos y optimización del flujo diagnóstico^{18,19}. La capacidad de estos algoritmos para identificar precozmente el cáncer ha sido validada mediante su aplicación en programas de cribado, donde han demostrado mejorar la tasa de diagnósticos tempranos²⁰. Dentro de esta lógica, el modelo Sybil, basado en datos longitudinales de imagenología, constituye un ejemplo paradigmático de predicción temporal del riesgo, ya que permite ajustar los intervalos de cribado en función de perfiles individuales, con claras implicancias en la asignación racional de recursos sanitarios^{21,22}.

De forma complementaria, estos sistemas han facilitado la detección oportunista de comorbilidades asociadas al tabaquismo, como el enfisema o la calcificación arterial coronaria, a partir de las mismas exploraciones por tomografía utilizadas en el cribado oncológico. La valoración simultánea de estas patologías contribuye a una gestión integral del paciente, alineándose con una medicina que busca trascender el enfoque puramente tumoral^{23,24}.

En el terreno del diagnóstico de precisión, se observa una confluencia inédita entre la radiómica, la patología digital y la genómica computacional. Las técnicas de radiómica han demostrado su capacidad para inferir perfiles genéticos de los tumores, incluyendo mutaciones en genes impulsores como EGFR o ALK, mediante el análisis fenotípico no invasivo de imágenes, lo cual amplía la posibilidad de realizar un perfil genético sin necesidad de biopsias²⁵. Además, la identificación de biomarcadores inmunológicos desde imágenes médicas empieza a perfilarse como una herramienta útil en la selección de terapias inmunomoduladoras²⁶. La patología computacional, por su parte, ha ido más allá de la descripción morfológica para ofrecer inferencias moleculares a partir de patrones histológicos digitalizados, aportando así datos clave sobre la heterogeneidad tumoral que informan decisiones terapéuticas más refinadas²⁷.

La integración multimodal de datos clínicos, radiológicos y patológicos en modelos diagnósticos unificados promete una evaluación más completa del paciente, aunque no está exenta de dificultades. La armonización de modalidades con escalas temporales y espaciales dispares sigue siendo un desafío técnico y metodológico relevante^{19,28}.

La estratificación pronóstica y la predicción de respuesta terapéutica constituyen, probablemente, uno de los ámbitos donde la inteligencia artificial ha mostrado mayor potencial transformador. Modelos basados en características tumorales profundas han permitido generar predicciones más precisas sobre la supervivencia, facilitando así la individualización de las estrategias terapéuticas²³. En paralelo, se ha avanzado en la predicción de respuesta a inmunoterapias y terapias dirigidas mediante el uso de biomarcadores compuestos, que superan las limitaciones de los criterios convencionales y abren nuevas vías para la medicina personalizada²⁴. La identificación de patrones de resistencia, tanto primarios como adquiridos, resulta crucial para ajustar dinámicamente las terapias y anticiparse al fracaso clínico²⁹.

Tabla 1. Usos clínicos de la inteligencia artificial en el abordaje del cáncer de pulmón

Aplicaciones de la IA	Resultados / Beneficios
Integración de datos del exposoma digital y conductual; sensores ambientales y de comportamiento	Identificación contextualizada de factores de riesgo como el tabaquismo
Puntuaciones poligénicas potenciadas por aprendizaje automático	Estrategias preventivas personalizadas al combinar genética y ambiente
Algoritmos automatizados en TC de baja dosis; modelos predictivos como Sybil	Mayor sensibilidad en detección de nódulos; reducción de falsos positivos; ajuste de intervalos de cribado
Análisis automatizado de TC de cribado	Diagnóstico oportunista de enfisema o calcificación coronaria
Radiómica, patología digital y genómica computacional	Identificación no invasiva de mutaciones (EGFR, ALK); inferencias moleculares; biomarcadores inmunológicos
Modelos basados en características tumorales y biomarcadores compuestos	Predicciones precisas de supervivencia; selección de terapias personalizadas; detección de resistencia
Modelos algorítmicos de riesgo	Anticipación de neumonitis, cardiotoxicidad o hiperprogresión; mejor evaluación riesgo-beneficio

No menos importante es la anticipación de toxicidades, un aspecto tradicionalmente difícil de prever. La modelización del riesgo de eventos adversos graves, como neumonitis, cardiotoxicidad o hiperprogresión, ha mejorado gracias a los sistemas de predicción algorítmica, permitiendo un análisis más matizado de la relación riesgo-beneficio antes de iniciar un tratamiento^{21,22}. [Tabla 1]

Barreras para la implementación clínica de la inteligencia artificial en la oncología pulmonar

La implementación clínica de la inteligencia artificial en oncología pulmonar se encuentra atravesada por una serie de obstáculos que no pueden ser abordados desde una única dimensión técnica, sino que requieren una aproximación crítica, informada por múltiples saberes. En nuestra experiencia, al intentar integrar herramientas algorítmicas en escenarios asistenciales reales, se torna evidente que no basta con demostrar eficiencia operativa. Las barreras que surgen son de orden epistemológico, metodológico, social y regulatorio, y cada una plantea desafíos específicos que, lejos de ser aislados, se retroalimentan de manera compleja.

Uno de los puntos más problemáticos reside en la crisis de interpretabilidad que acompaña a muchos desarrollos en inteligencia artificial. La opacidad algorítmica, resultado de arquitecturas cada vez más complejas como las redes neuronales profundas, compromete la trazabilidad de las decisiones clínicas sugeridas por estos sistemas. Tal limitación obstaculiza la confianza del personal médico, cuya práctica depende en gran medida de la comprensión clara y justificada de cada recomendación diagnóstica o terapéutica^{30,31}.

A estas limitaciones epistemológicas se suma un conjunto de deficiencias metodológicas que comprometen la validez externa de muchos estudios sobre inteligencia artificial en oncología. La heterogeneidad en los protocolos de entrenamiento, con conjuntos de datos que rara vez reflejan la diversidad clínica de los pacientes, introduce sesgos que minan la generalización de los modelos en contextos distintos de aquellos para los cuales fueron diseñados^{32,33}. Esta fragmentación se ve agravada por una preocupante laxitud en el cumplimiento de estándares de reporte y directrices para ensayos clínicos con inteligencia artificial, lo cual dificulta la replicación de resultados y erosiona la confianza en la evidencia publicada³⁴.

Además, la implementación de inteligencia artificial en oncología pulmonar no puede desligarse de sus implicancias en términos de equidad. Las evidencias acumuladas indican que los modelos actuales tienden a reproducir, e incluso amplificar, disparidades ya existentes en función de variables raciales, socioeconómicas y geográficas³⁵. Estas inequidades no surgen exclusivamente del sesgo en los datos de entrenamiento, aunque este constituye un factor relevante, sino también de la ausencia de marcos normativos sensibles a las diferencias estructurales en el acceso y uso de tecnologías médicas. La justicia distributiva en la implementación de IA no puede reducirse a una cuestión técnica; se trata, más bien, de un imperativo normativo que obliga a rediseñar los procesos de adopción tecnológica bajo principios de inclusión y equidad³⁶.

El marco regulatorio constituye, por su parte, una de las dimensiones menos desarrolladas en relación con la velocidad de innovación algorítmica. Los sistemas regulatorios actuales, en su mayoría diseñados para productos médicos estáticos, no están preparados para abordar la naturaleza adaptativa y evolutiva de los algoritmos de aprendizaje automático³⁷.

Tabla 2. Barreras para la implementación clínica de la inteligencia artificial en la oncología pulmonar

Barreras específicas	Consecuencias principales
Opacidad algorítmica y crisis de interpretabilidad en modelos complejos como redes neuronales profundas	Dificulta la trazabilidad de las decisiones; reduce la confianza del personal médico
Heterogeneidad en protocolos de entrenamiento y datos poco representativos; deficiencias en estándares de reporte	Sesgos que limitan la validez externa y generalización; baja replicabilidad de resultados
Reproducción y amplificación de disparidades raciales, socioeconómicas y geográficas	Incremento de inequidades en acceso, diagnóstico y tratamiento; necesidad de marcos normativos inclusivos
Sistemas regulatorios inadecuados frente a algoritmos adaptativos; ausencia de vigilancia postcomercialización	Riesgos en seguridad clínica; retraso en aprobación de innovaciones; carencia de evaluación dinámica

La falta de mecanismos de vigilancia postcomercialización, así como de estrategias dinámicas de evaluación regulatoria, representa una carencia urgente que requiere atención prioritaria si se aspira a un despliegue seguro y éticamente justificado de la inteligencia artificial en el ámbito clínico³⁸.

[Tabla 2]

Discusión

Los hallazgos apoyan que la inteligencia artificial (IA) aporta valor a lo largo del continuo asistencial del cáncer de pulmón, aunque su impacto en desenlaces clínicos duros sigue condicionado por la calidad de los datos, la validez externa y la gobernanza de su implementación^{12,13}.

En prevención y cribado, la integración de exposoma digital y patrones conductuales permite capturar riesgos dinámicos, pero su utilidad poblacional depende de abordar gradientes socioeconómicos que modulan la incidencia y el acceso^{14,15}. Las puntuaciones poligénicas potenciadas por aprendizaje automático son prometedoras para estrategias personalizadas, con el reto crítico de la representatividad de las cohortes para evitar sesgos en poblaciones diversas^{16,17}.

En detección precoz, los algoritmos aplicados a LDCT han reducido falsos positivos y optimizado el flujo diagnóstico, con indicios de aumento de diagnósticos en estadio temprano. Aun así, persisten incertidumbres sobre generalización, umbrales operativos y riesgo de sobrediagnóstico no cuantificado de forma consistente¹⁸⁻²⁰. Modelos longitudinales de riesgo como Sybil abren la puerta a intervalos de cribado adaptativos y asignación más eficiente de recursos, lo que requiere evaluación prospectiva de seguridad y costo efectividad^{21,22}.

En diagnóstico de precisión, la convergencia de radiómica, patología computacional y genómica computacional permite inferir perfiles moleculares y biomarcadores inmunológicos a partir de imágenes, con potencial para reducir biopsias en contextos seleccionados²⁵⁻²⁷. El principal cuello de botella es metodológico: armonización intercentro, control de efectos de lote y fusión de modalidades con escalas temporo espaciales dispares^{19,28}.

En pronóstico y respuesta terapéutica, los modelos profundos mejoran la estratificación y anticipan respuesta o resistencia, lo que habilita ajustes terapéuticos oportunos. La capacidad de anticipar toxicidades como neumonitis o cardiotoxicidad añade una capa de seguridad, pero exige calibración robusta, umbrales clínicamente interpretables y validación en entornos reales^{21-24,29}. La detección oportunista de comorbilidades en LDCT refuerza un abordaje integral centrado en el paciente^{23,24}.

Las barreras más determinantes son transversales. La opacidad de muchos modelos limita la aceptabilidad clínica y la auditabilidad de decisiones que afectan la seguridad del paciente^{30,31}. Los déficits metodológicos y de reporte comprometen la validez externa y la reproducibilidad, por lo que se requiere estandarización rigurosa, validaciones multicéntricas y métricas de utilidad clínica más allá del AUC, como calibración y análisis de curvas de decisión³²⁻³⁴. La equidad debe integrarse desde el diseño con auditorías de desempeño por subgrupos, mitigación de sesgos y estrategias de despliegue sensibles al contexto^{35,36}. El marco regulatorio necesita vigilancia poscomercialización continua, planes de cambio para modelos adaptativos y evaluaciones dinámicas que acompañen la evolución algorítmica^{37,38}.

En los estudios revisados se identifican como escenarios clínicos seguros para integrar modelos de IA el cribado automatizado con LDCT por su reducción de falsos positivos y mejora del flujo diagnóstico¹⁸⁻²⁰, la predicción longitudinal de riesgo con herramientas como Sybil por su capacidad para ajustar intervalos de cribado según perfiles individuales^{21,22}, y el diagnóstico de precisión mediante radiómica y patología computacional por su aptitud para inferir mutaciones y biomarcadores a partir de imágenes con validez demostrada²⁵⁻²⁷.

Conclusiones

La inteligencia artificial se presenta como un agente de transformación estructural en el abordaje del cáncer de pulmón, al proponer una reorganización profunda de los procesos clínicos que articulan diagnóstico, tratamiento y seguimiento. Su irrupción no debe leerse únicamente como una evolución tecnológica, sino como una inflexión en la epistemología médica, capaz de tensionar y enriquecer los marcos tradicionales de la toma de decisiones. No obstante, la expectativa transformadora que suscita debe ser moderada por una comprensión crítica de sus condiciones reales de aplicabilidad.

El tránsito hacia modelos asistenciales mediados por inteligencia artificial implica asumir que el conocimiento médico ya no se genera exclusivamente desde la experiencia clínica directa ni desde la evidencia controlada, sino también desde sistemas de inferencia algorítmica cuyo funcionamiento, muchas veces, escapa a los esquemas clásicos de validación. Esta nueva racionalidad médica no reemplaza al juicio clínico, pero lo interpela. Su eficacia dependerá de nuestra capacidad para articular, con precisión y rigor, espacios de colaboración entre intuición experta y análisis automatizado, sin subsumir una en la otra.

Los beneficios operativos observados en el cribado, la predicción pronóstica y la personalización terapéutica son significativos, pero no suficientes para garantizar una integración clínica efectiva. La literatura reciente muestra que la mayor parte de los modelos aún carecen de validación externa robusta y de mecanismos de interpretación compatibles con la lógica de la práctica médica. Además, su adopción enfrenta resistencias culturales comprensibles, en tanto estos sistemas alteran jerarquías epistémicas y flujos de autoridad largamente establecidos en la medicina asistencial.

Un aspecto crítico que no puede ser subestimado es la dimensión ética y distributiva. Los sesgos en los datos de entrenamiento, la escasa representatividad de ciertos grupos poblacionales y la opacidad algorítmica no son externalidades técnicas, sino manifestaciones de decisiones estructurales que afectan directamente la equidad del cuidado. En este punto, se vuelve necesario un esfuerzo colectivo para diseñar tecnologías que no sólo sean precisas, sino también justas, comprensibles y adaptables a contextos clínicos diversos.

El despliegue de la inteligencia artificial en cáncer de pulmón plantea una oportunidad sin precedentes para redefinir el modo en que se concibe y practica la medicina torácica. Pero esta promesa solo podrá cumplirse si se asume con realismo, espíritu crítico y sentido ético. Más que una revolución automatizada, lo que se vislumbra es una transformación asistida, en la que el conocimiento médico y el cálculo computacional se interpelan mutuamente para construir formas más precisas, humanas y sostenibles de cuidado.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses en la realización de este artículo

Declaración de uso de IA

Para el presente artículo se usó GPT en su versión 4o para corregir errores ortográficos, de puntuación y mejorar legibilidad. El prompt usado fue “corrige los errores de redacción y ortográficos del texto y de puntuación para mejorar la legibilidad”. Luego de la respuesta obtenida se revisó que se haya mantenido la información proporcionada por el autor. La herramienta no ha sido usada para creación autónoma de contenido.

Referencias bibliográficas

- Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, Siegel RL, Torre LA, Jemal A. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2018;68(6):394-424. doi: 10.3322/caac.21492.
- Zarinshenas R, Amini A, Mambetsariev I, Abuali T, Fricke J, Ladbury C, et al. Assessment of barriers and challenges to screening, diagnosis, and biomarker testing in early-stage lung cancer. *Cancers (Basel).* 2023;15(5):1595. doi: 10.3390/cancers15051595.
- Attili I, Del Re M, Guerini-Rocco E, Crucitta S, Pisapia P, Pepe F, et al. The role of molecular heterogeneity targeting resistance mechanisms to lung cancer therapies. *Expert Rev Mol Diagn.* 2021;21(8):757-66. doi: 10.1080/14737159.2021.1943365.
- Lim ZF, Ma PC. Emerging insights of tumor heterogeneity and drug resistance mechanisms in lung cancer targeted therapy. *J Hematol Oncol.* 2019;12:134. doi: 10.1186/s13045-019-0818-2.
- Huang Q, Li Y, Huang Y, Wu J, Bao W, Xue C, et al. Advances in molecular pathology and therapy of non-small cell lung cancer. *Signal Transduct Target Ther.* 2025;10:186. doi: 10.1038/s41392-025-02243-6.
- Cognigni V, Toscani I, D'Agnelli S, Pecci F, Righi L, Berardi R, et al. Molecular heterogeneity of small cell lung cancer and new therapeutic possibilities: a narrative review of the literature. *Transl Lung Cancer Res.* 2025;14(4). doi: 10.21037/tlcr-24-755.
- Zhu L, Jiang M, Wang H, Sun H, Zhu J, Zhao W, et al. A narrative review of tumor heterogeneity and challenges to tumor drug therapy. *Ann Transl Med.* 2021;9(16):1351. doi: 10.21037/atm-21-1948.
- Kanan M, Alharbi H, Alotaibi N, Almasuood L, Aljoaid S, Alharbi T, et al. AI-driven models for diagnosing and predicting outcomes in lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Cancers (Basel).* 2024;16(3):674. doi: 10.3390/cancers16030674.
- Liu M, Wu J, Wang N, Zhang X, Bai Y, Guo J, et al. The value of artificial intelligence in the diagnosis of lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2023;18(3):e0273445. doi: 10.1371/journal.pone.0273445.
- Wang S, Rong R, Zhou Q, Yang DM, Zhang X, Zhan X, et al. Deep learning of cell spatial organizations identifies clinically relevant insights in tissue images. *Nat Commun.* 2023;14:7872. doi: 10.1038/s41467-023-43172-8.
- Alkhatami MG, Advani SM, Abalkhail AA, Alkhatami FM, Alshehri MK, Albeashy E, et al.

- Prevalence and mortality of lung comorbidities among patients with COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Respir Med.* 2020. doi: 10.1101/2020.06.01.20119271.
12. Mercadante S, Masedu F, Valenti M, Aielli F. Breakthrough pain in patients with lung cancer. A secondary analysis of IOPS MS study. *J Clin Med.* 2020;9(5):1337. doi: 10.3390/jcm9051337.
13. Zhao G, Li X, Lei S, Zhao H, Zhang H, Li J. Prevalence of lung cancer in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis. *Front Oncol.* 2022;12:947981. doi: 10.3389/fonc.2022.947981.
14. Shen J, Crothers K, Kross EK, Petersen K, Melzer AC, Triplett M. Provision of smoking cessation resources in the context of in-person shared decision-making for lung cancer screening. *Chest.* 2021;160(2):765-75. doi: 10.1016/j.chest.2021.03.016.
15. Shao X, Niu R, Shao X, Jiang Z, Wang Y. Value of 18F-FDG PET/CT-based radiomics model to distinguish the growth patterns of early invasive lung adenocarcinoma manifesting as ground-glass opacity nodules. *EJNMMI Res.* 2020;10:80. doi: 10.1186/s13550-020-00668-4.
16. Chen AW, Patel O, Cohen E, Roshkovan L, Kontos D. Radiomic phenotypes of the background lung parenchyma from F-FDG PET/CT images can augment tumor radiomics and clinical factors in predicting response after surgical resection of tumors in patients with non-small cell lung cancer. In: Astley SM, Chen W, editors. *Medical Imaging 2024: Computer-Aided Diagnosis*. Bellingham: SPIE; 2024. p. 102. doi: 10.1117/12.3006944.
17. Liu S, Liu S, Zhang C, Yu H, Liu X, Hu Y, et al. Exploratory study of a CT radiomics model for the classification of small cell lung cancer and non-small-cell lung cancer. *Front Oncol.* 2020;10:1268. doi: 10.3389/fonc.2020.01268.
18. El Ayachy R, Giraud N, Giraud P, Durdux C, Giraud P, Burgun A, et al. The role of radiomics in lung cancer: from screening to treatment and follow-up. *Front Oncol.* 2021;11:603595. doi: 10.3389/fonc.2021.603595.
19. Tunali I, Tan Y, Gray JE, Katsoulakis E, Eschrich SA, Saller J, et al. Hypoxia-related radiomics and immunotherapy response: a multicohort study of non-small cell lung cancer. *JNCI Cancer Spectr.* 2021;5(4):pkab048. doi: 10.1093/jncics/pkab048.
20. Tian F, Chen Z, Chen X, Zhao M. Increasing trends of polypharmacy and potentially inappropriate medication use in older lung cancer patients in China: a repeated cross-sectional study. *Front Pharmacol.* 2022;13:935764. doi: 10.3389/fphar.2022.935764.
21. Wu YJ, Wu FZ, Yang SC, Tang EK, Liang CH. Radiomics in early lung cancer diagnosis: from diagnosis to clinical decision support and education. *Diagnostics (Basel).* 2022;12(5):1064. doi: 10.3390/diagnostics12051064.
22. Haghighi B, Horng H, Noël PB, Cohen EA, Pantalone L, Vachani A, et al. Radiomic phenotyping of the lung parenchyma in a lung cancer screening cohort. *Sci Rep.* 2023;13:2040. doi: 10.1038/s41598-023-29058-1.
23. Rinaldi L, Guerini Rocco E, Spitaleri G, Raimondi S, Attali I, Ranghiero A, et al. Association between contrast-enhanced computed tomography radiomic features, genomic alterations and prognosis in advanced lung adenocarcinoma patients. *Cancers (Basel).* 2023;15(18):4553. doi: 10.3390/cancers15184553.
24. Dercle L, Fronheiser M, Lu L, Du S, Hayes W, Leung DK, et al. Identification of non-small cell lung cancer sensitive to systemic cancer therapies using radiomics. *Clin Cancer Res.* 2020;26(9):2151-62. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-19-2942.
25. Song L, Zhu Z, Mao L, Li X, Han W, Du H, et al. Clinical, conventional CT and radiomic feature-based machine learning models for predicting ALK rearrangement status in lung adenocarcinoma patients. *Front Oncol.* 2020;10:369. doi: 10.3389/fonc.2020.00369.
26. Wu G, Jochems A, Refaie T, Ibrahim A, Yan C, Sanduleanu S, et al. Structural and functional radiomics for lung cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2021;48(12):3961-74. doi: 10.1007/s00259-021-05242-1.
27. Guo H, Tang HT, Hu WL, Wang JJ, Liu PZ, Yang JJ, et al. The application of radiomics in esophageal cancer: predicting the response after neoadjuvant therapy. *Front Oncol.* 2023;13:1082960. doi: 10.3389/fonc.2023.1082960.
28. Le NQK, Kha QH, Nguyen VH, Chen YC, Cheng SJ, Chen CY. Machine learning-based radiomics signatures for EGFR and KRAS mutations prediction in non-small-cell lung cancer. *Int J Mol Sci.* 2021;22(17):9254. doi: 10.3390/ijms22179254.
29. Sun R, Lerousseau M, Briand-Diop J, Routier E, Roy S, Henry T, et al. Radiomics to evaluate interlesion heterogeneity and to predict lesion response and patient outcomes using a validated signature of CD8 cells in advanced melanoma patients treated with anti-PD1 immunotherapy. *J Immunother Cancer.* 2022;10(10):e004867. doi: 10.1136/jitc-2022-004867.
30. Morley J, Machado CCV, Burr C, Cows J, Joshi I, Taddeo M, et al. The ethics of AI in health care: a mapping review. *Soc Sci Med.* 2020;260:113172. doi: 10.1016/j.socscimed.2020.113172.
31. Iqbal J, Jahangir K, Mashkooor Y, Sultana N, Mehmood D, Ashraf M, et al. The future of artificial intelligence in neurosurgery: a narrative review. *Surg Neurol Int.* 2022;13:536. doi: 10.25259/sni_877_2022.
32. Arigbabu AT, Olaniyi OO, Adigwe CS, Adebisi OO, Ajayi SA. Data governance in AI-enabled healthcare systems: a case of the Project Nightingale. *Am J Res Comput Sci.* 2024;17(5):85-107. doi: 10.9734/ajrcos/2024/v17i5441.
33. Cavique L. Implications of causality in artificial intelligence. *Front Artif Intell.* 2024;7:1439702. doi: 10.3389/frai.2024.1439702.
34. Sengupta D. Artificial intelligence in diagnostic dermatology: challenges and the way forward. *Indian Dermatol Online J.* 2023;14(6):782-7. doi: 10.4103/idoj.idoj_462_23.
35. Mwoyosi A. Ethical and privacy challenges of integrating generative AI into EHR systems in Tanzania: a scoping review with a policy perspective. *Digit Health.* 2025;11:20552076251344385. doi: 10.1177/20552076251344385.
36. Alfaraj A, Nagai T, AlQallaf H, Lin WS. Race to the moon or the bottom? Applications, performance, and ethical considerations of artificial intelligence in prosthodontics and implant dentistry. *Dent J (Basel).* 2024;13(1):13. doi: 10.3390/dj13010013.
37. Tavory T. Regulating AI in mental health: ethics of care perspective. *JMIR Ment Health.* 2024;11:e58493. doi: 10.2196/58493.
38. Ricciardi Celsi L. The dilemma of rapid AI advancements: striking a balance between innovation and regulation by pursuing risk-aware value creation. *Information (Basel).* 2023;14(12):645. doi: 10.3390/info14120645.