



Inteligencia artificial como herramienta transformadora en la prevención y diagnóstico temprano del cáncer

Artificial Intelligence as a transformative tool in cancer prevention and early diagnosis

Natalia Sánchez^{1,2*}, Carlos A. Trujillo³, Edwin Pulido^{1,2}, Heidy Trujillo^{1,2}, Adriana Aya^{1,2}, Andrés F. Cardona^{1,2}

¹Instituto de investigación y educación, Centro de Tratamiento e Investigación sobre Cáncer Luis Carlos Sarmiento Angulo (CTIC), Bogotá, Colombia

²Grupo de Investigación GIGA, Centro de Tratamiento e Investigación sobre Cáncer Luis Carlos Sarmiento Angulo (CTIC) / Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia

³Maestría de Inteligencia artificial, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Recibido: 10 enero 2025

Aceptado: 15 marzo 2025

*Correspondencia: Natalia Sánchez. nsanchez@fctic.org

Resumen

La inteligencia artificial (IA) está revolucionando la oncología al optimizar la prevención y el diagnóstico temprano del cáncer. Mediante algoritmos avanzados de aprendizaje automático, la IA analiza grandes volúmenes de datos médicos, como imágenes, historias clínicas y biomarcadores, para detectar patrones que podrían indicar la presencia de cáncer en etapas iniciales. Uno de sus mayores beneficios es la alta precisión en la identificación de anomalías en estudios de imagen como mamografías, tomografías computarizadas y resonancias magnéticas. Además, la IA facilita la personalización de tratamientos y estrategias preventivas mediante modelos predictivos que analizan factores genéticos y ambientales, permitiendo intervenciones médicas tempranas y reduciendo la mortalidad. Sin embargo, la implementación de la IA en oncología enfrenta desafíos significativos. La calidad y disponibilidad de los datos médicos pueden afectar la precisión de los modelos, y los sesgos en los conjuntos de datos pueden generar diagnósticos erróneos. Asimismo, la falta de estandarización dificulta su integración en los sistemas de salud. Otro desafío importante es la interpretabilidad de los resultados, ya que algunos modelos funcionan como "cajas negras" sin una explicación clara de sus conclusiones. Este manuscrito tiene como objetivo analizar la evidencia científica disponible sobre el uso de la IA en la prevención y

diagnóstico del cáncer, explorando sus aplicaciones, ventajas y limitaciones en la identificación de factores de riesgo, cribado poblacional y detección temprana de neoplasias. Además, se examinarán los desafíos éticos, técnicos y regulatorios que surgen con su implementación en la práctica oncológica, destacando su impacto en la toma de decisiones clínicas y en la mejora de los resultados en salud.

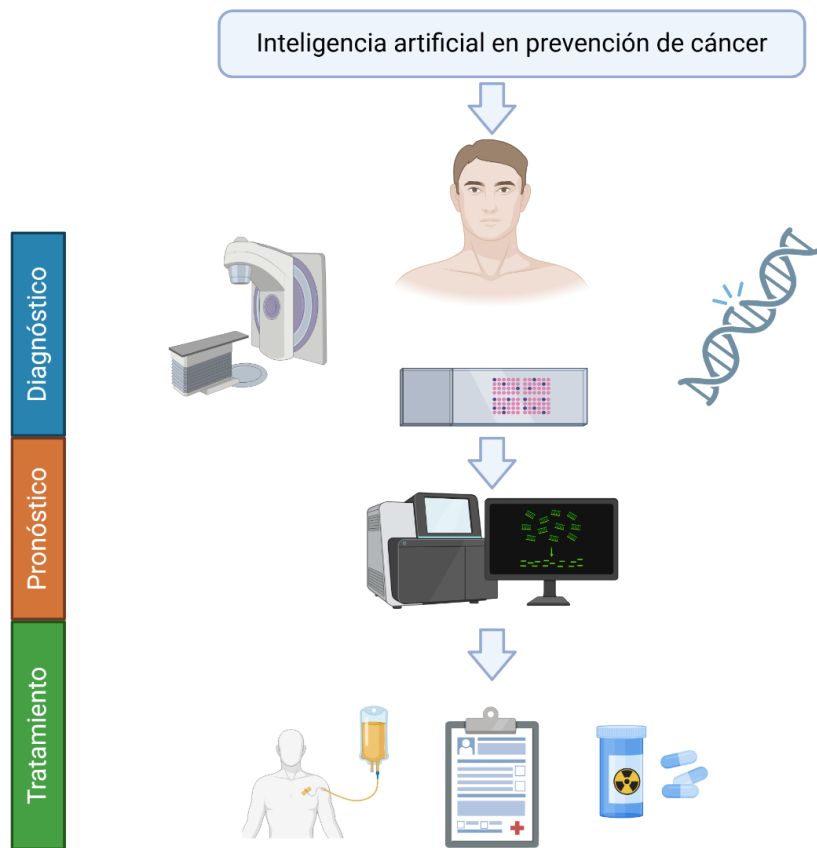
Palabras clave: Inteligencia artificial. Prevención de cáncer. Diagnóstico temprano. Cribaje. Modelos predictivos.

Abstract

Artificial intelligence (AI) revolutionizes oncology by optimizing cancer prevention and early diagnosis. Through advanced machine learning algorithms, AI analyzes large volumes of medical data, including images, clinical histories, and biomarkers, to identify patterns that may indicate the presence of cancer in its early stages. One of its most significant advantages is its high accuracy in detecting anomalies in imaging studies such as mammograms, CT scans, and MRIs. Additionally, AI enables personalized treatments and preventive strategies through predictive models that assess genetic and environmental factors, facilitating early medical interventions and reducing mortality. However, the implementation of AI in oncology faces significant challenges. The quality and availability of medical data can affect model accuracy, and dataset biases may lead to incorrect diagnoses. Furthermore, the lack of standardization hinders its integration into healthcare systems. Another critical challenge results from the interpretability, as some models operate as “black boxes” without clearly explaining their conclusions. This manuscript aims to analyze the available scientific evidence on AI applications in cancer prevention and diagnosis, exploring its benefits and limitations in risk factor identification, population screening, and early neoplasm detection. Additionally, the ethical, technical, and regulatory challenges associated with its implementation in oncological practice will be examined, emphasizing its impact on clinical decision-making and health outcomes.

Keywords: Artificial intelligence. Cancer prevention. Early diagnosis. screening. Predictive models.

Resumen gráfico



Puntos clave

- La inteligencia artificial (IA) ha demostrado una precisión superior en la detección temprana de cáncer, permitiendo intervenciones médicas más oportunas y mejora los resultados en salud.
- Los modelos predictivos basados en IA integran datos genómicos, ambientales y de estilo de vida para personalizar estrategias de prevención y tratamiento.
- La implementación de la IA en oncología enfrenta retos significativos, como la calidad de los datos, la interpretabilidad de los algoritmos (problema de la “caja negra”) y la posibilidad de sesgos en los conjuntos de datos.
- La IA tiene el potencial de reducir las desigualdades en el acceso a la atención médica al llevar herramientas de diagnóstico y prevención a poblaciones desatendidas.

Introducción

La inteligencia artificial (IA) se ha convertido en una de las tecnologías más transformadoras del siglo XXI. En términos generales, la IA hace referencia a la capacidad de las máquinas para realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como

el aprendizaje, la toma de decisiones, el reconocimiento de patrones y la resolución de problemas. Mediante algoritmos avanzados y grandes volúmenes de datos, los sistemas de IA pueden analizar, predecir y automatizar procesos con una precisión y eficiencia crecientes¹.

En el campo de la salud, la IA ha marcado hitos significativos que han revolucionado tanto la práctica clínica como la salud pública. Uno de los primeros avances notables fue el desarrollo de sistemas expertos en la década de 1970, como MYCIN, diseñado para diagnosticar infecciones bacterianas y recomendar tratamientos². Sin embargo, fue en las últimas dos décadas, con el auge del aprendizaje automático (*machine learning*) y el aprendizaje profundo (*deep learning*), cuando la IA alcanzó un impacto sin precedentes. Por ejemplo, en 2016, el sistema Watson de IBM demostró su capacidad para analizar grandes cantidades de literatura médica y ayudar en la toma de decisiones clínicas³. Más recientemente, los algoritmos de IA han ayudado a los radiólogos en la detección temprana de enfermedades como el cáncer de mama a partir de imágenes médicas⁴.

Además de su aplicación en el diagnóstico, la IA ha desempeñado un papel importante en la promoción y prevención de la salud. Desde la predicción de brotes epidemiológicos hasta la personalización de programas de prevención basados en datos genómicos y de estilo de vida, la IA está transformando la manera en que abordamos la salud pública⁵. Este artículo revisa los avances más relevantes de la IA en este ámbito, destacando su potencial para mejorar la calidad de vida y reducir la carga de las enfermedades oncológicas a nivel global.

Fundamentos de la inteligencia artificial en oncología

La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una herramienta poderosa en el campo de la oncología⁶, ofreciendo nuevas formas de abordar la promoción, prevención y diagnóstico temprano del cáncer. Para comprender su impacto, es esencial definir los conceptos clave y las tecnologías que sustentan estas aplicaciones.

El aprendizaje automático (*machine learning*) es el subcampo de la IA que permite a los sistemas aprender patrones a partir de datos sin ser programados explícitamente. Su uso ha crecido tras la mayor disponibilidad de datos de pacientes debido a avances tecnológicos como los registros en la historia

clínica electrónica y la extracción de información de gran volumen de imágenes médicas. En oncología, por ejemplo, se han empleado para la evaluación del riesgo oncológico, la segmentación automatizada, la detección de lesiones, la caracterización, la clasificación y estadificación, la predicción del pronóstico y la respuesta a la terapia⁷.

Por otro lado, el aprendizaje profundo (*deep learning* - DL), es una técnica avanzada de aprendizaje automático que utiliza redes neuronales artificiales con múltiples capas. Es especialmente útil y se ha publicado una cantidad significativa de estudios que evalúan el rendimiento de las técnicas de DL en oncología radioterápica. Estos estudios demuestran cómo los sistemas basados en DL pueden ayudar a los médicos en su trabajo diario, ya sea reduciendo el tiempo necesario para la segmentación o la variabilidad en la misma, o ayudando a predecir los resultados y las toxicidades del tratamiento⁸.

Uno de los grandes avances de la IA promete facilitar la interpretación cualitativa de las imágenes del cáncer por parte de médicos expertos, incluida la delineación volumétrica de los tumores a lo largo del tiempo, la extrapolación del genotipo del tumor y el curso biológico a partir de su fenotipo radiográfico, la predicción del resultado clínico y la evaluación del impacto de la enfermedad y el tratamiento en los órganos adyacentes⁹.

Adicionalmente, la integración del perfil genómico con la IA se convierte en una herramienta predictiva útil para analizar cómo la composición genética única de un individuo influye en la susceptibilidad a la enfermedad y los resultados del tratamiento, la convergencia de la IA y los datos multimodales impulsados por la genómica, ha revolucionado la oncología de precisión, cambiando el panorama de la atención al paciente descubriendo nuevas oportunidades para una mejor comprensión de la biología del cáncer¹⁰.

El procesamiento del Lenguaje Natural (NLP) tiene entre sus principales tareas transformar el texto libre en datos estructurados y vincular el texto a ontologías o terminologías. Son ejemplos de esto en el ámbito clínico la extracción de información sobre

diagnósticos y estadificación, la correspondencia de pacientes candidatos para ensayos clínicos y la extracción de datos como evolución y resultados en las notas clínicas¹¹.

Herramientas y tecnologías de IA en oncología

Algunas de las herramientas más utilizadas son los algoritmos de clasificación; estos son utilizados para categorizar tumores según su tipo, grado de malignidad y respuesta potencial a tratamientos. Pinochet et al., en 2021, realizaron un estudio en el que analizaron un prototipo de software de segmentación automática que utiliza CNN (*convolutional neural network*) en PET (tomografía por emisión de positrones) para distinguir focos hipermetabólicos sospechosos de cáncer de focos no sospechosos en dos cohortes distintas de pacientes¹². Sus resultados evidenciaron que los volúmenes metabólicos tumorales totales determinados por PARS (*PET-Assisted Reporting System*) fueron predictivos de la supervivencia global y la supervivencia libre de progresión de los pacientes pertenecientes a la cohorte de investigación de linfoma difuso de células B grandes, y aunque es prometedor, el prototipo en este estudio tendió a subestimar el número de focos cancerosos, lo que condujo a falsos negativos en algunos casos; por lo tanto, fue

necesaria una verificación manual después de la segmentación automática.

Otras herramientas utilizadas son los modelos predictivos, con los cuales se han desarrollado herramientas de predicción estadística que brindan una estimación cuantitativa de la probabilidad de un evento específico para un paciente individual. Estos frecuentemente tienen mayor precisión que la determinación del estadio o los grupos de riesgo, y además, pueden incorporar predictores como datos genómicos y pueden usarse para tomar decisiones en el tratamiento de los pacientes con cáncer¹³. Actualmente, varios modelos de predicción se utilizan ampliamente en la práctica clínica, (*Gail* para la incidencia y *Adjuvant* para la recurrencia del cáncer de mama). Los sistemas de apoyo a la decisión Clínica (CDSS) son eficaces para la detección de diferentes factores de riesgo de enfermedades y también para mejorar la práctica clínica en servicios de atención preventiva, en pruebas clínicas y en tratamientos, facilitando así la toma de decisiones sobre qué intervenciones implementar y su seguimiento. Las herramientas CDSS para las decisiones sobre el tratamiento del cáncer utilizan diferentes datos, por ejemplo, datos de imágenes médicas, datos biológicos y genómicos, pruebas diagnósticas y biomarcadores, factores de riesgo, aspectos sociales, ensayos clínicos, entre otros¹⁴.

Las plataformas de análisis de datos surgieron por la necesidad de modelar oportunamente los datos clínicos y multiómicos para encontrar patrones estadísticos en millones de características para identificar vías biológicas subyacentes, factores de riesgo modificables e información procesable que respalde la detección temprana y la prevención de trastornos complejos, y el desarrollo de nuevas terapias para una mejor atención al paciente. Estas soluciones que integran múltiples fuentes de datos (imágenes, genómica, historiales clínicos) proporcionan una visión holística del paciente y mejoran la precisión del diagnóstico¹⁵.

Fuentes de datos en IA oncológica

Las imágenes médicas son las fuentes más importantes de datos para la IA en oncología, entre ellas se incluyen mamografías, tomografías

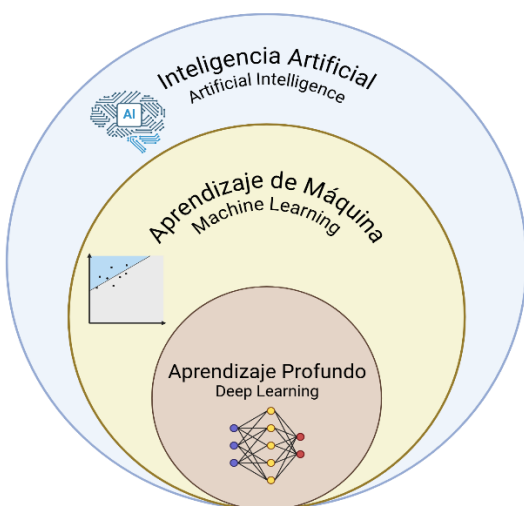


Figura 1. Inteligencia artificial, aprendizaje de máquina y aprendizaje profundo.

computarizadas (CT), resonancias magnéticas (MRI) y tomografías por emisión de positrones (PET), entre otras. Otros datos relevantes son los genómicos provenientes de la secuenciación del genoma tumoral y el análisis de mutaciones específicas asociadas con el cáncer. Por su parte, los registros electrónicos de salud (EHR) contienen información sobre antecedentes médicos, resultados de pruebas diagnósticas, tratamientos previos y actuales.

Desafortunadamente, existe una gran dificultad en extraer los datos clave de las visitas del paciente, así como los resultados de la radiología, de la histopatología y las notas de procedimientos, ya que se encuentran en texto libre, y esto ha limitado tradicionalmente el análisis de los datos; actualmente, el procesamiento del lenguaje natural permite la extracción automática de estas características. En oncología, la inmunohistoquímica y la secuenciación clínica de tumores son el estándar de atención para muchos pacientes debido a su potencial para guiar la terapia; la combinación de datos del mundo real tiene un enorme potencial para ayudar en la predicción de la dinámica tumoral¹⁶.

Otra de las fuentes importantes de datos, son los extraídos de *Wearables* y Dispositivos IoT; esta información recopilada mediante dispositivos portátiles, como monitores de actividad física, sensores de glucosa, etc., pueden contribuir a la detección temprana de cambios fisiológicos asociados con el cáncer¹⁷.

Los avances en la tecnología de sensores han hecho que los dispositivos portátiles y las arquitecturas de IoT sean más viables y asequibles que nunca, con una reducción sustancial de los costes de los microprocesadores y el almacenamiento de datos, lo que permite realizar un seguimiento de los datos de los pacientes sin que estos deban cambiar sus rutinas y estilos de vida diarios.

Por último, los datos epidemiológicos nos brindan la Información acerca de lo que sucede en grandes grupos de personas y ofrecen una imagen en tiempo real de la carga que representa el cáncer para la sociedad, información como cuántas personas son diagnosticadas con cáncer y mueren a causa de él cada año, la cantidad de personas que siguen

vivas después de un diagnóstico de cáncer, la edad promedio en el momento del diagnóstico y la cantidad de personas que siguen vivas en un momento determinado después del diagnóstico, también indican las diferencias entre grupos definidos por edad, sexo, grupo racial o étnico, ubicación geográfica y otras categorías¹⁸.

Aplicaciones prácticas de la IA en oncología

En el ámbito del cribado y la detección temprana, la IA ha demostrado ser útil en la interpretación automatizada de mamografías donde algunos algoritmos de IA identifican microcalcificaciones y masas sospechosas (4). En el diagnóstico del cáncer de pulmón, algunos sistemas analizan tomografías computarizadas para detectar nódulos pulmonares en etapas tempranas, incluso antes de que sean visibles para el ojo humano¹⁹. Las patologías digitales permiten ahora analizar imágenes de biopsias y muestras histológicas, identificando patrones celulares asociados con diferentes tipos de cáncer, reduciendo errores y agilizando la toma de decisiones clínicas²⁰. Además, en la predicción de la evolución de la enfermedad, modelos basados en IA pueden estimar la respuesta al tratamiento y el riesgo de recaída, permitiendo estrategias terapéuticas más efectivas²¹. También, en el desarrollo de fármacos, la IA acelera el descubrimiento de nuevas moléculas y optimiza ensayos clínicos al seleccionar pacientes con mayor precisión. Así, la IA se posiciona como una herramienta que promete mejorar la eficiencia y personalización en la atención oncológica.

Promoción del Cáncer mediante IA

La promoción de la salud es un pilar fundamental en la lucha contra el cáncer, ya que muchas de las muertes por esta enfermedad podrían prevenirse mediante la adopción de estilos de vida saludables y la detección temprana. La IA está desempeñando un papel cada vez más importante en este ámbito, ofreciendo herramientas innovadoras para educar, concienciar y empoderar a las personas en la prevención del cáncer. Es el caso de las plataformas digitales educativas, donde la IA se utiliza para crear plataformas interactivas que ofrecen información

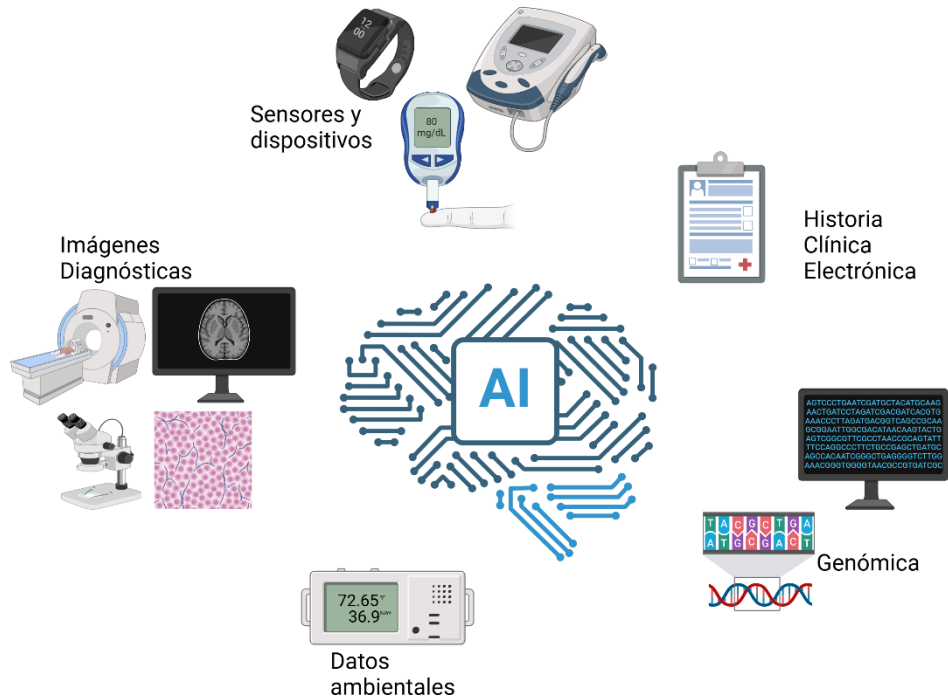


Figura 2. Principales fuentes de datos utilizadas en prevención de cáncer con IA.

personalizada sobre los factores de riesgo del cáncer (tabaquismo, dieta poco saludable, sedentarismo, exposición al sol, etc.). Estas plataformas adaptan el contenido según las necesidades y el perfil del usuario, aumentando la efectividad de las campañas de concienciación²². Otro medio es la realización de campañas personalizadas: mediante el análisis de datos demográficos y de comportamiento, la IA permite diseñar campañas de promoción de la salud dirigidas a grupos específicos. Por ejemplo, campañas para dejar de fumar dirigidas a jóvenes o programas de alimentación saludable para personas con antecedentes familiares de cáncer²³.

Chatbots y asistentes virtuales

Un *chatbot* es un programa de software o una interfaz web que simula conversaciones humanas a través de interacciones de texto o voz. Estos operan en línea y utilizan tecnologías avanzadas de IA para conversar en un lenguaje natural, imitando los patrones de conversación humanos²⁴. Los

chatbots impulsados por IA pueden brindar apoyo educativo personalizado e interactivo de manera eficaz, mejorando la comprensión y la retención de información relacionada con la enfermedad por parte de los pacientes. La integración de la tecnología de *chatbots* en programas educativos puede empoderar a los pacientes y, en última instancia, promover la concienciación y la prevención del cáncer²⁵.

Adicionalmente, algunos *chatbots* utilizan algoritmos de IA para realizar evaluaciones preliminares del riesgo de cáncer. Mediante preguntas sobre antecedentes familiares, hábitos de vida y factores ambientales, estos sistemas pueden identificar a personas que podrían beneficiarse de programas de cribado o intervenciones preventivas. Otro beneficio es que admiten texto y voz multilingües en una fracción de segundo, y son útiles especialmente en el cuidado de la salud, donde pueden apoyar cambios en el comportamiento y también pueden actuar como asistentes y ayudar con tareas y actividades rutinarias en entornos de vida²⁶.

Prevención del cáncer mediante IA

Identificación de poblaciones en riesgo

Los modelos predictivos de riesgo son aquellos en los que se analizan grandes volúmenes de datos, como historias clínicas, antecedentes familiares, datos genómicos y factores de estilo de vida, para estimar el riesgo individual de desarrollar cáncer. Estos modelos permiten identificar a personas con mayor probabilidad de desarrollar la enfermedad, lo que facilita la implementación de estrategias preventivas dirigidas. Un ejemplo de estos modelos es aquellos que predicen el riesgo de cáncer de mama basados en mutaciones genéticas (BRCA1/BRCA2) y factores de estilo de vida^{21,27}. Medidas como la incidencia, la prevalencia y la mortalidad también se utilizan para desarrollar modelos predictivos y estrategias de prevención. Por ejemplo, existen sistemas que predicen brotes de cáncer asociados a la exposición a carcinógenos ambientales²⁸.

Estrategias de prevención personalizadas

Una de las estrategias es el desarrollo de estudios de quimioprevención. En este caso, la IA ayuda a identificar a pacientes que podrían beneficiarse de fármacos preventivos, como por ejemplo el tamoxifeno para el cáncer de mama o la aspirina para el cáncer colorrectal, basándose en su perfil de riesgo individual. En 2024 Boucharas et al, publicaron su estudio que revela información importante sobre la quimioprevención y los ciclos de proliferación del cáncer; el cual, si se continúa, podría conducir al desarrollo de suplementos nutricionales que inhiban completamente la expansión de tumores cancerosos. Esta metodología se puede utilizar para describir otros fenómenos que progresan con el tiempo y tiene el poder de estimar resultados futuros²⁹.

También se pueden llevar a cabo programas de cribado selectivo. En este caso, la IA permite diseñar programas de cribado más eficientes, dirigidos a poblaciones de alto riesgo, y dar recomendaciones personalizadas acerca de cuándo y con qué frecuencia realizarse mamografías o colonoscopias. Algunos ejemplos son los algoritmos que priorizan la realización de pruebas de cribado en personas

con antecedentes familiares de cáncer, optimizando los recursos y reduciendo los costos al evitar la realización de pruebas innecesarias³⁰.

Evaluación de factores ambientales y ocupacionales

Los avances en tecnologías de alto rendimiento han dado lugar a un creciente campo de plataformas multiómicas, o grandes conjuntos de datos de biomarcadores que describen las características biológicas, incluidas la genómica, la epigenómica, la transcriptómica, la proteómica y la metabolómica. En la investigación del cáncer, una forma clave de desarrollar y comprender el papel de los carcinógenos ambientales puede ser mediante la integración de las exposiciones ambientales con estas plataformas multiómicas establecidas y emergentes³¹.

En la prevención en entornos laborales, la IA puede ayudar a identificar riesgos ocupacionales entre los que se destaca la importancia de las localizaciones del cáncer, como el mesotelioma, el cáncer de senos paranasales, el cáncer de pulmón, el cáncer de nasofaringe, el cáncer de mama, el cáncer de piel no melanoma, el cáncer de vejiga, el cáncer de esófago, el cáncer de tejidos blandos y el cáncer de estómago, así como de los carcinógenos, como el amianto, los aceites minerales, la radiación solar, el sílice, los gases de escape de los motores diésel, los alquitranes y breas de hulla, las dioxinas, el humo ambiental del tabaco, el radón, el tetracloroetileno, el arsénico y las nieblas inorgánicas fuertes, así como de las circunstancias laborales, como el trabajo por turnos y las profesiones de pintor o soldador, y sugerir medidas preventivas para reducir la incidencia de cáncer en trabajadores^{28,32}.

Optimización de programas de cribado poblacional

Seleccionar las poblaciones objetivo mediante IA permite identificar subgrupos poblacionales que se beneficiarían más de los programas de cribado, optimizando el uso de recursos y aumentando la efectividad de las intervenciones. Existen algoritmos que priorizan la realización de pruebas

de cribado en comunidades con menor acceso a servicios de salud³³. Además, la IA se utiliza para diseñar campañas de recordatorio personalizadas, aumentando la participación en programas de cribado como mamografías o pruebas de detección de cáncer colorrectal; por ejemplo, hay sistemas que envían mensajes personalizados a pacientes para recordarles la importancia de realizarse pruebas de cribado.

Casos de éxito en la prevención del cáncer mediante IA

- **Google DeepMind y el cáncer de mama:** *DeepMind* ha desarrollado algoritmos que analizan mamografías para identificar signos tempranos de cáncer de mama, mejorando la precisión del cribado y reduciendo los falsos positivos, han logrado reducir los falsos positivos en un 5,7% y los falsos negativos en un 9,4%⁴.
- El método de secuenciación de primera generación conlleva a datos genómicos complejos a gran escala con capacidades para identificar patrones y correlaciones utilizando conjuntos de herramientas habilitados para IA. Las variantes y mutaciones genéticas se identifican aprovechando los algoritmos de aprendizaje automático, El impacto funcional de las variantes sin sentido se predice mediante algoritmos computacionales como SIFT, PolyPhen2, PROVEAN, AlignGVGD y *MutationTaster*^{34,35}. Otras herramientas computacionales como *SpliceSiteFinder*, MaxEntScan, NNSPLICE, *GeneSplicer* y *Human Splicing Finder* funcionan como programas de predicción de sitios de empalme para variantes intrónicas y silenciosas³⁶.
- La incorporación de IA con patología digital mejora el flujo de trabajo y permite a los médicos ver imágenes para un análisis preciso, reduciendo la subjetividad al estandarizar los protocolos; adicionalmente, habilita la visualización de imágenes a mayor escala e información en color con variabilidad reducida facilitando la identificación de manera efectiva de marcadores únicos asociados con biomarcadores específicos de la enfermedad para el diagnóstico, pronóstico y tratamiento^{20,37}.

Diagnóstico temprano del cáncer mediante IA

Análisis de imágenes médicas

Los principales avances de la IA para medicina se han aplicado ampliamente en el ámbito clínico de la radiología. La extracción de datos cuantitativos relevantes, como el tamaño, la simetría, la posición, el volumen y la forma, de las imágenes médicas es esencial para un diagnóstico y un tratamiento adecuados, pero estos datos están sujetos a errores humanos según su grado de experiencia. Por lo tanto, en el caso de tumores complicados existe un reto adicional. Los avances recientes en ML y DL abordan el bloqueo del ruido y los artefactos que pueden ser visibles con estrategias computacionales mejoradas que pueden realizar análisis para una mayor calidad y precisión de las imágenes para optimizar las decisiones clínicas³⁸⁻⁴⁰.

Biomarcadores en fluidos corporales

La IA puede analizar muestras de sangre, orina y otros fluidos corporales para identificar biomarcadores tempranos de cáncer, como proteínas específicas o fragmentos de ADN tumoral circulante (ctDNA). Cohen et al., describieron un análisis de sangre que puede detectar ocho tipos comunes de cáncer mediante la evaluación de los niveles de proteínas circulantes y mutaciones en el ADN⁴¹. Esta prueba, llamada CancerSEEK, fue aplicada a 1005 pacientes con cánceres no metastásicos, detectados clínicamente, de ovario, hígado, estómago, páncreas, esófago, colon y recto, pulmón o mama. Las pruebas dieron positivo en una mediana del 70% de los ocho tipos de cáncer. Las sensibilidades oscilaron entre el 69% y el 98% para la detección de cinco tipos de cáncer (ovario, hígado, estómago, páncreas y esófago) para los que no hay pruebas de detección disponibles para individuos con riesgo promedio. La especificidad de CancerSEEK fue superior al 99% pues 7 de 812 controles sanos dieron positivo.

Integración de datos multimodales

Al fusionar modelos de aprendizaje automático histopatológicos, radiológicos y clinicogenómicos, se podrá realizar una mejor estratificación del riesgo de pacientes con cáncer a través de la integración de

Tabla 1. Herramientas y algoritmos de IA para la promoción y prevención del cáncer.

Herramienta/Algoritmo	Descripción
IBM Watson for oncology	Sistema basado en IA que analiza grandes volúmenes de datos clínicos para recomendar opciones de tratamiento personalizadas.
DeepMind AlphaFold	Predice estructuras de proteínas, lo que ayuda a comprender mejor la biología del cáncer y desarrollar nuevas terapias.
Google DeepVariant	Usa IA para identificar mutaciones genéticas en secuencias de ADN, ayudando en la detección temprana de predisposición al cáncer.
PathAI	Plataforma que mejora la precisión del diagnóstico de cáncer mediante el análisis automatizado de biopsias digitales.
Imagen AI (Google Health)	Red neuronal que ayuda a detectar el cáncer de mama en mamografías con mayor precisión que los radiólogos tradicionales.
Lunit INSIGHT	Herramienta de IA utilizada en radiología para la detección temprana de cáncer en imágenes de rayos X y tomografías computarizadas.
Qure.ai	Algoritmo que analiza imágenes médicas para detectar anomalías en tejidos, útil para cribado de cáncer en poblaciones de riesgo.
PARS (PET-Assisted Reporting System)	Software basado en IA que segmenta automáticamente imágenes PET para identificar focos tumorales sospechosos.
CureMetrix	Algoritmo de IA para mejorar la detección de cáncer de mama en mamografías, reduciendo falsos positivos y negativos.
ScreenPoint Transpara	Asistente de IA que ayuda a radiólogos en la detección temprana de cáncer de mama en mamografías digitales.
Microsoft Project Hanover	IA que ayuda a analizar datos clínicos y de investigación para encontrar patrones en diferentes tipos de cáncer.
Kheiron Medical Technologies Mia	Algoritmo de IA diseñado para mejorar la precisión en la detección del cáncer de mama en mamografías.

datos multimodales. En 2022, Boehm y colaboradores reunieron un conjunto de datos multimodales de 444 pacientes con cáncer de ovario seroso de alto grado principalmente en etapa tardía y descubrieron características cuantitativas, como el tamaño nuclear del tumor en la tinción con hematoxilina y eosina y la textura del omento en la tomografía computarizada con contraste, asociadas con el pronóstico así demostraron que la integración de imágenes clínicas multiescala con datos genómicos aumenta la capacidad predictiva⁴².

Impacto en la salud pública

La reducción de desigualdades en el acceso a la salud, proporcionando herramientas de diagnóstico y prevención a poblaciones desatendidas, es uno de

los grandes impactos en salud pública. Existen sistemas de IA que permiten realizar cribados de cáncer en áreas rurales o con limitados recursos médicos³³.

Desafíos y limitaciones de la IA en promoción, prevención y diagnóstico temprano del cáncer

Aunque la inteligencia artificial (IA) ha demostrado un gran potencial en la promoción, prevención y diagnóstico temprano del cáncer, su implementación no está exenta de desafíos. Estos incluyen barreras técnicas, preocupaciones éticas y limitaciones prácticas que deben abordarse para garantizar que la IA se utilice de manera efectiva y equitativa.

Barreras técnicas

La implementación de la IA en el sector de la salud aún tiene muchas barreras independientemente de sus beneficios. Con la computación automatizada, hay un aumento en los macrodatos y los costos, debido a su dependencia de requisitos computacionales especializados para el procesamiento rápido de datos; adicionalmente, estos sistemas también requieren nuevos procesos de calidad. Para implementar sistemas basados en IA en la práctica clínica de rutina, los usuarios requieren capacitación y comprensión del sistema⁴³. La efectividad de los algoritmos de IA depende en gran medida de la calidad y cantidad de los datos utilizados para entrenarlos, por lo tanto, los datos incompletos, sesgados o de baja calidad pueden llevar a resultados inexactos o poco confiables. Por ejemplo, si un algoritmo se entrena principalmente con datos de una población específica, puede no generalizarse bien a otras poblaciones⁴⁴. La falta de estandarización en los formatos de datos y sistemas de información dificulta la integración de la IA en los flujos de trabajo clínicos existentes. Las dificultades para integrar datos de imágenes médicas, historias clínicas y datos genómicos en una única plataforma son uno de los mayores desafíos en la actualidad. Es importante tener en cuenta que los algoritmos de IA pueden perpetuar o incluso amplificar sesgos presentes en los datos de entrenamiento, lo que puede llevar a desigualdades en la atención médica, por ejemplo, algoritmos que subestiman el riesgo de cáncer en ciertos grupos étnicos debido a la falta de representación en los datos de entrenamiento⁴⁵.

Aspectos éticos y legales

El uso de IA en salud implica el manejo de grandes cantidades de datos sensibles, lo que plantea preocupaciones sobre la privacidad y la seguridad de la información. Es importante tener en cuenta los riesgos de violaciones de datos que podrían exponer información médica confidencial⁴⁶. Rigby y colaboradores, en 2019 destacaron el desafío ético con la IA en la atención médica, relacionado con el uso de datos de pacientes en circunstancias injustificadas

y sin consentimiento⁴⁷. Además, se requieren políticas y pautas éticas para proteger la seguridad y la privacidad del paciente.

La responsabilidad en la toma de decisiones es muy relevante, cuando un sistema de IA comete un error diagnóstico o recomienda un tratamiento inadecuado, es difícil determinar quién es responsable: el desarrollador del algoritmo, el proveedor de salud o el profesional que lo utilizó. Existen casos en los que un diagnóstico erróneo basado en IA lleva a un tratamiento incorrecto⁴⁸.

Por otro lado, los profesionales de la salud pueden ser reacios a adoptar tecnologías de IA debido a la falta de familiaridad, el escepticismo sobre su efectividad o la preocupación por ser reemplazados. Es frecuente encontrar médicos que prefieren confiar en su juicio clínico en lugar de las recomendaciones de un algoritmo⁴⁹. A pesar de estos temores, los científicos informáticos sostienen que los esfuerzos por crear una IA transparente deberían considerarse un complemento del aprendizaje humano, no un sustituto.

Algunos algoritmos desarrollados en países de altos ingresos no funcionan bien en países de bajos ingresos debido a diferencias en la prevalencia de enfermedades y acceso a la atención médica⁵⁰, además, deben ser continuamente actualizados y reentrenados para mantenerse al día con los avances en la investigación del cáncer y los cambios en las prácticas clínicas. Fjeld et al., en 2020, compararon el contenido de treinta y seis documentos destacados de principios de la IA, realizaron un consenso en torno a ocho tendencias temáticas clave: privacidad, rendición de cuentas, seguridad, transparencia y explicabilidad, equidad y no discriminación, control humano de la tecnología, responsabilidad profesional y promoción de los valores humanos. Sus observaciones van dirigidas a los responsables de las políticas, los defensores, los académicos y otros que trabajan para maximizar los beneficios y minimizar los daños de la IA⁵¹. La prevención del cáncer con Inteligencia Artificial se beneficiaría significativamente con la superación de estos desafíos y limitaciones.

Financiamiento

Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de agencias de financiamiento de los sectores público, comercial o sin fines de lucro.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Contribución de autoría

Los autores certifican haber contribuido de igual manera con el material científico e intelectual, análisis de datos y redacción del manuscrito.

Referencias

1. Stuart Russell, Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th ed. Prentice Hall; 2020.
2. Edward Hance Shortliffe. *Computer-Based Medical Consultations: Mycin*. Elsevier; 1976.
3. Shader RI. Some Reflections on IBM Watson and on Women's Health. *Clin Ther*. 2016 Jan;38(1):1–2.
4. McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, Godwin J, Antropova N, Ashrafian H, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*. 2020 Jan 2;577(7788):89–94.
5. Koleck TA, Dreisbach C, Bourne PE, Bakken S. Natural language processing of symptoms documented in free-text narratives of electronic health records: a systematic review. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2019 Apr 1;26(4):364–79.
6. Luchini C, Pea A, Scarpa A. Artificial intelligence in oncology: current applications and future perspectives. *Br J Cancer*. 2022 Jan 1;126(1):4–9.
7. Cuocolo R, Caruso M, Perillo T, Ugga L, Petretta M. Machine Learning in oncology: A clinical appraisal. *Cancer Lett*. 2020 Jul;481:55–62.
8. Boldrini L, Bibault JE, Masciocchi C, Shen Y, Bittner MI. Deep Learning: A Review for the Radiation Oncologist. *Front Oncol*. 2019 Oct 1;9.
9. Bi WL, Hosny A, Schabath MB, Giger ML, Birkbak NJ, Mehrtash A, et al. Artificial intelligence in cancer imaging: Clinical challenges and applications. *CA Cancer J Clin*. 2019 Mar 5;69(2):127–57.
10. Das S, Mazumder S, Alam N, Vernekar M, Dam A, Bhowmick AK, et al. Precision Oncology in the Era of Genomics and Artificial Intelligence. *Journal of Current Oncological Trends*. 2024 Jan;1(1):22–30.
11. Puts S, Zegers C, Nayak S, Nobel M, Dekker A. Natural language processing in oncology. In: *Machine Learning and Artificial Intelligence in Radiation Oncology*. Elsevier; 2024. p. 137–61.
12. Pinochet P, Eude F, Becker S, Shah V, Sibille L, Toledano MN, et al. Evaluation of an Automatic Classification Algorithm Using Convolutional Neural Networks in Oncological Positron Emission Tomography. *Front Med (Lausanne)*. 2021 Feb 26;8.
13. Vickers AJ. Prediction models in cancer care. *CA Cancer J Clin*. 2011 Sep 23;61(5):315–26.
14. Mazo C, Kearns C, Mooney C, Gallagher WM. Clinical Decision Support Systems in Breast Cancer: A Systematic Review. *Cancers (Basel)*. 2020 Feb 6;12(2):369.
15. Ahmed Z. Practicing precision medicine with intelligently integrative clinical and multi-omics data analysis. *Hum Genomics*. 2020 Dec 2;14(1):35.
16. Jee J, Fong C, Pichotta K, Tran TN, Luthra A, Waters M, et al. Automated real-world data integration improves cancer outcome prediction. *Nature*. 2024 Dec 19; 636(8043):728–36.
17. Menta AK, Subbiah IM, Subbiah V. Bringing wearable devices into oncology practice: fitting smart technology in the clinic. *Discov Med*. 2018;26(145):261–70.
18. National Cancer Institute – NIH. Understanding statistics. Disponible en: <https://www.cancer.gov/about-cancer/understanding/statistics>.
19. Alexander MJ. End-to-End Lung Cancer Screening with Three-Dimensional Deep Learning on Low-Dose Chest Computed Tomography. *American Journal of Respiratory & Critical Care Medicine*. 2020 Oct 1;202(7):1033–4.
20. Bera K, Schalper KA, Rimm DL, Velcheti V, Madabhushi A. Artificial intelligence in digital pathology – new tools for diagnosis and precision oncology. *Nat Rev Clin Oncol*. 2019 Nov 9;16(11):703–15.
21. Khera AV, Chaffin M, Aragam KG, Haas ME, Roselli C, Choi SH, et al. Genome-wide polygenic scores for common diseases identify individuals with risk equivalent to monogenic mutations. *Nat Genet*. 2018 Sep 13;50(9):1219–24.
22. Acuna N, Vento I, Alzate-Duque L, Valera P. Harnessing Digital Videos to Promote Cancer Prevention and Education: a Systematic Review of the Literature from 2013–2018. *Journal of Cancer Education*. 2020 Aug 9;35(4):635–42.
23. Gaceta Médica. La campaña 'Palabras que rompen fronteras' utiliza IA para apoyar a familiares y pacientes de LLC [Internet]. 20 septiembre 2024. Disponible en: <https://gacetamedica.com/profesion/la-campana-palabras-que-rompen-fronteras-utiliza-ia-para-apoyar-a-familiares-y-pacientes-de-llc/>.
24. McTear M, Callejas Z, Griol D. *The Conversational Interface*. Cham: Springer International Publishing; 2016.
25. Lin SJ, Sun CY, Chen DN, Kang YN, Hoang KD, Chen KH, et al. Chatbots for breast cancer education: a systematic review and meta-analysis. *Supportive Care in Cancer*. 2025 Jan 27;33(1):55.
26. Badlani S, Aditya T, Dave M, Chaudhari S. Multilingual Healthcare Chatbot Using Machine Learning. En: *Jain College of Engineering, ed. Proceedings of the 2nd International Conference for Emerging Technology (INCET); 2021 May 21–23; Belagavi, India. Piscataway (NJ): IEEE; 2021:1–6*.
27. Gentile F, Malara N. Artificial intelligence for cancer screening and surveillance. *ESMO Real World Data and Digital Oncology*. 2024;5:100046. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.esmorw.2024.100046>.

28. Widya LK, Rezaei F, Lee J, Lee J, Park BR, Yoo J, et al. AI-Driven Geospatial Analysis of Indoor Radon Levels: A Case Study in Chungcheongbuk-do, South Korea. *Earth Syst Environ* 2025; 9(1):23.
29. Boucharas DG, Anastasiadou C, Karkabounas S, Antonopoulou E, Manis G. Toward Cancer Chemoprevention: Mathematical Modeling of Chemically Induced Carcinogenesis and Chemoprevention. *BioMedInformatics*. 2024 Feb 2;4(1):360–84.
30. Esserman LJ, Anton-Culver H, Borowsky A, Brain S, Cink T, Crawford B, et al. The WISDOM Study: breaking the deadlock in the breast cancer screening debate. *NPJ Breast Cancer*. 2017 Sep 13;3(1):34.
31. Kehm RD, Lloyd SE, Burke KR, Terry MB. Advancing environmental epidemiologic methods to confront the cancer burden. *Am J Epidemiol*. 2025 Jan 8;194(1):195–207.
32. Rushton L, Hutchings SJ, Fortunato L, Young C, Evans GS, Brown T, et al. Occupational cancer burden in Great Britain. *Br J Cancer*. 2012 Jun 19;107(S1):S3–7.
33. Onega T, Beaber EF, Sprague BL, Barlow WE, Haas JS, Tosteson ANA, et al. Breast cancer screening in an era of personalized regimens: A conceptual model and National Cancer Institute initiative for risk-based and preference-based approaches at a population level. *Cancer*. 2014 Oct 15;120(19):2955–64.
34. Pshennikova VG, Barashkov NA, Romanov GP, Teryutin FM, Solov'ev AV, Gotovtsev NN, et al. Comparison of Predictive In Silico Tools on Missense Variants in GJB2, GJB6, and GJB3 Genes Associated with Autosomal Recessive Deafness 1A (DFNB1A). *Sci World J* 2019;2019:1-9.
35. Xu J, Yang P, Xue S, Sharma B, Sanchez-Martin M, Wang F, et al. Translating cancer genomics into precision medicine with artificial intelligence: applications, challenges and future perspectives. *Hum Genet*. 2019 Feb 22;138(2):109–24.
36. Moles-Fernández A, Duran-Lozano L, Montalban G, Bonache S, López-Perolio I, Menéndez M, et al. Computational Tools for Splicing Defect Prediction in Breast/Ovarian Cancer Genes: How Efficient Are They at Predicting RNA Alterations? *Front Genet*. 2018 Sep 5;9.
37. Niazi MKK, Parwani A V, Gurcan MN. Digital pathology and artificial intelligence. *Lancet Oncol* [Internet]. 2019 May 1;20(5):e253–61. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(19\)30154-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(19)30154-8)
38. Gore JC. Artificial intelligence in medical imaging. *Magn Reson Imaging*. 2020 May;68:A1–4.
39. Lewis SJ, Gandomkar Z, Brennan PC. Artificial Intelligence in medical imaging practice: looking to the future. *J Med Radiat Sci*. 2019 Dec 10;66(4):292–5.
40. Reduced Lung-Cancer Mortality with Low-Dose Computed Tomographic Screening. *New England Journal of Medicine*. 2011 Aug 4;365(5):395–409.
41. Cohen JD, Li L, Wang Y, Thoburn C, Afsari B, Danilova L, et al. Detection and localization of surgically resectable cancers with a multi-analyte blood test. *Science* (1979). 2018 Feb 23;359(6378):926–30.
42. Boehm KM, Aherne EA, Ellenson L, Nikolovski I, Alghamdi M, Vázquez-García I, et al. Multimodal data integration using machine learning improves risk stratification of high-grade serous ovarian cancer. *Nat Cancer*. 2022 Jun 28;3(6):723–33.
43. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, Dong Y, Li H, Ma S, et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke Vasc Neurol*. 2017 Dec;2(4):230–43.
44. Obermeyer Z, Powers B, Vogeli C, Mullainathan S. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science* (1979). 2019 Oct 25;366(6464):447–53.
45. Parikh RB, Teeple S, Navathe AS. Addressing Bias in Artificial Intelligence in Health Care. *JAMA*. 2019 Dec 24;322(24):2377.
46. Price WN, Cohen IG. Privacy in the age of medical big data. *Nat Med*. 2019 Jan 7;25(1):37–43.
47. Ethical Dimensions of Using Artificial Intelligence in Health Care. *AMA J Ethics*. 2019 Feb 1;21(2):E121-124.
48. Char DS, Shah NH, Magnus D. Implementing Machine Learning in Health Care – Addressing Ethical Challenges. *New England Journal of Medicine*. 2018 Mar 15;378(11):981–3.
49. Castelvechi D. Can we open the black box of AI? *Nature*. 2016 Oct 5;538(7623):20–3.
50. Wahl B, Cossy-Gantner A, Germann S, Schwalbe NR. Artificial intelligence (AI) and global health: how can AI contribute to health in resource-poor settings? *BMJ Glob Health*. 2018 Aug 29;3(4):e000798.
51. Fjeld J, Achten N, Hilligoss H, Nagy A, Srikumar M. Principled Artificial Intelligence: Mapping Consensus in Ethical and Rights-Based Approaches to Principles for AI. *SSRN Electronic Journal*. 2020.