

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y RADIOLOGÍA: LA DISRUPCIÓN TECNOLÓGICA EN LA TRANSFORMACIÓN DE UN PARADIGMA

Gabriela Puentes¹, Emmanuel Salinas Miranda², Gustavo Adolfo Triana³

Resumen

La inteligencia artificial (IA) ha demostrado su funcionalidad en la mayor parte de las áreas de la radiología moderna. El progreso notable en el desarrollo de redes neuronales convolucionales ha abierto la puerta para nuevos horizontes en los cuales la IA será protagonista en el análisis de imágenes médicas. En los últimos años, las herramientas de IA en radiología han demostrado su capacidad para reconocer patrones de alta complejidad en las imágenes, con un rendimiento que puede equiparar o, incluso, superar al del médico entrenado. Se han evidenciado escenarios clínicos en los cuales las tecnologías de IA pueden realizar una valoración radiológica más rápida y eficiente respecto de los métodos actuales. Este hecho plantea algunos interrogantes acerca del papel del radiólogo en el futuro de la radiología. Aún existen brechas y retos en el desarrollo ético de la IA en la atención médica, en la validación adecuada de algoritmos, en el desarrollo de mecanismos efectivos para compartir datos y en la solución de los obstáculos regulatorios. En esta revisión, se busca abordar las potenciales aplicaciones de la IA en la labor del radiólogo, no desde la mirada especulativa y distópica, sino desde el reconocimiento de las oportunidades que nos brindan los desarrollos tecnológicos para nutrir la práctica del médico, optimizar los procesos de enseñanza y generar mayor eficacia en la asistencia sanitaria del futuro. En este sentido, los radiólogos cada día son menos espectadores de los desarrollos y más participes y consumidores de estos.

Palabras clave: *Inteligencia Artificial; Redes Neuronales; Radiología; Sistemas de Información Radiológica.*

1 MD. Facultad de Medicina, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.

2 MD. Comité de Inteligencia Artificial, Asociación Colombiana de Radiología, Bogotá, Colombia.

3 MD. Sección Radiología Pediátrica e Investigación, Departamento de Imágenes Diagnósticas, Fundación Santa Fe de Bogotá, Bogotá, Colombia.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND RADIOLOGY: TECHNOLOGICAL DISRUPTION IN THE TRANSFORMATION OF A PARADIGM

Abstract

Artificial intelligence (AI) has proven its effectiveness in many areas of modern radiology. Remarkable progress in the development of convolutional neural networks has opened the door for new horizons in which AI will play a leading role in the analysis of medical images. In recent years, AI has demonstrated its ability to recognize highly complex patterns in images with an accuracy that can match and even exceed that of trained clinicians. There has been evidence of clinical scenarios in which AI technologies can perform a faster and more efficient radiological assessment compared to current methods. This fact raises some questions about the role of radiologists in the future of radiology. Challenges remain in the ethical application of AI in healthcare, in the proper validation of algorithms, in developing effective mechanisms for sharing data, and in solving regulatory hurdles. In this review, we seek to understand the potential applications of AI in the radiologist's work, not from a speculative and dystopian perspective; but from the recognition of the opportunities that technological developments offer us to improve the practice of the doctor, optimize the teaching processes and generate greater efficiency in the health care of the future. In this sense, everyday radiologists are fewer spectators of innovations and more participants and consumers of them.

Keywords: *Artificial Intelligence; Computational Intelligence; Neural Networks; Radiology; Radiology Information Systems.*

Introducción

La disrupción potencial que puede generar la inteligencia artificial (IA) en el campo de la radiología está rodeada de controversias y ansiedades en la profesión. Desde las primeras referencias de la IA en la radiología, su potencial disruptivo ha sido evidente (1). Sin embargo, la llegada de las tecnologías de la cuarta revolución industrial a la práctica de la radiología ha suscitado un gran debate sobre el papel y las responsabilidades del radiólogo en el futuro (2). Estos desarrollos no solo tienen la capacidad de impactar significativamente sobre una de las actividades

principales de la radiología que es la interpretación de las imágenes, sino también sobre todo el flujo clínico de trabajo (1).

En los últimos años se ha presentado un crecimiento progresivo de este campo en la radiología, impulsado principalmente por la disponibilidad de grandes conjuntos de datos y nuevos algoritmos de aprendizaje profundo (2). Varios argumentos soportan la incorporación de estas nuevas tecnologías, con la posibilidad de optimizar diversos escenarios: el incremento de la certeza diagnóstica, en la calidad de la atención y la disminución de los tiempos de lectura (3-5).

A pesar del papel protagónico de la IA en los últimos 20 años (6), su aplicación en la vida real ha generado múltiples detractores en la especialidad y debates sobre su capacidad de ser una tecnología generalizable (7). Aunque por el momento faltan datos suficientes para la aplicación rutinaria de esta tecnología, en la práctica rutinaria, la creciente evidencia permite suponer que el desarrollo de soluciones automatizadas basadas en el aprendizaje profundo comenzará a abordar los problemas clínicos más comunes en un futuro no lejano (1).

Varios problemas deben resolverse previo a la implementación de la IA en la práctica diaria (4,5). Estos incluyen el papel los acuerdos sobre los desarrollos en la IA para la obtención de imágenes, el desarrollo ético y el uso de la IA en la atención médica, la validación adecuada de cada algoritmo, el desarrollo de mecanismos efectivos para compartir datos y la solución de los obstáculos regulatorios de la IA (8).

Rol de las redes neuronales convolucionales en el aprendizaje de máquina

La inteligencia artificial incluye una gama muy amplia de funciones inteligentes realizadas por computadoras como la resolución de problemas, la planificación, la representación del conocimiento, el procesamiento del lenguaje y el aprendizaje automático (9). Sin embargo, es a través del aprendizaje profundo donde se logra el mayor impacto (10).

El aprendizaje profundo corresponde a un conjunto de algoritmos de redes neuronales artificiales que intentan modelar abstracciones de alto nivel en datos (11). De esta forma, estos algoritmos conforman diversas capas de aprendizaje con la capacidad de reconocer objetos particulares en imágenes según características definidas (12). Los modelos de aprendizaje profundo que suelen usarse en el reconocimiento de imágenes se basan en redes neuronales convolucionales (CNN)

con entradas de datos de forma bidimensional o tridimensional (12). Una CNN se conforma de una serie de capas que mapean y extraen sucesivamente las entradas de imágenes mientras aprenden características de objetos en las imágenes a un nivel cada vez más alto (3). Las CNN están formadas por una pila de una entrada, una capa de salida y con múltiples capas ocultas que *convolucionan* las entradas de datos para obtener la información útil (3).

Las CNN se pueden aplicar para la detección de lesiones tales como los tumores en la tomografía axial computarizada o la resonancia magnética (13,14). Para lograr esto, se detectan varios miles de regiones en cada sección de tomografía o resonancia y se encuentran todos los lugares posibles donde se pueden ubicar objetos en la imagen (propuesta de región) (13,14). Para la identificación de las regiones y el aprendizaje de las características se implementan capas de CNN con múltiples capas ocultas que usan conjuntos de datos con los que previamente se han entrenado (13,14). Estas capas ocultas son seguidas por capas conectadas que proporcionan un razonamiento de alto nivel y producción de predicciones (13,14). Las CNN están diseñadas para cuantificar características radiológicas específicas en distintos tipos de imagen, como la forma en 3 dimensiones de una consolidación o la textura de un tumor y la distribución de intensidades de píxeles. Finalmente, las CNN poseen un proceso de selección posterior para asegurar que solo se utilicen las características más relevantes de cada objeto (3).

Las CNN pueden desarrollarse a través de la transferencia de aprendizaje, un enfoque que permite aplicar la información aprendida en un proceso anterior para tareas diferentes pero relacionadas (14). Algunos sistemas son entrenados en imágenes no médicas y posteriormente son usados para el análisis de imágenes médicas (15). La transferencia de aprendizaje crea una oportunidad para el rápido progreso del aprendizaje automático en diferentes dominios dentro de la radio-

logía (15). La transferencia se facilita gracias a las numerosas herramientas de código abierto para modelar sistemas en aprendizaje profundo. Las bases de datos más extensas son de libre acceso (14,15). Adicionalmente, los desarrolladores de software y algunas organizaciones de tecnología han logrado incrementar el acceso a estas tecnologías, buscando democratizar su acceso (3,15).

Aplicaciones de la inteligencia artificial en la práctica clínica

El desarrollo de métodos de aprendizaje profundo se ha venido explorando en casi la totalidad de las ramas de la radiología para potenciar el rendimiento de la detección de hallazgos anormales en imágenes (4,16). Por ejemplo, en la radiografía de tórax se han desarrollado múltiples algoritmos de aprendizaje profundo para la interpretación automática (4). Los algoritmos actuales pueden detectar hasta 14 enfermedades frecuentes en la radiografía de tórax cuando se presentan como hallazgos aislados (16).

Uno de los campos en radiología con más investigación de IA es la radiología oncológica. A través de la introducción de la detección asistida por computadora (CAD) la IA empezó a tomar fuerza en la radiología (10).

La CAD se usa ahora de forma rutinaria en los programas de detección del cáncer de mama en los Estados Unidos, con evidencia consistente, equivalente o mejorada (10). Sin embargo, su impacto solo ha permitido un aumento marginal en las tasas de control de la enfermedad, lo que limita su introducción global en la práctica clínica rutinaria. La CAD también proporciona una segunda opinión respecto de la lectura inicial de las mamografías realizada por el radiólogo, siendo su principal objetivo a corto plazo el aumentar el desempeño basal del médico para facilitar la detección de lesiones sospechosas. (17). La mejora progresiva de

estos sistemas ha llevado a algunos modelos de IA a tener un desempeño comparable con el de un radiólogo (17).

En el Digital Mammography Dialogue for Reverse Engineering Assessments and Methods, o DREAM Challenge, que se llevó a cabo entre noviembre de 2016 y mayo de 2017, muchos equipos compitieron en el desarrollo de modelos de aprendizaje automático para clasificar las mamografías de detección según la presencia de cáncer (17). Los equipos más exitosos utilizaron modelos de aprendizaje profundo, logrando una sensibilidad y especificidad del 87% y 82%, respectivamente (17). A pesar de estas dificultades técnicas, los resultados son prometedores (18).

Un estudio de 2016 enfrentó cuatro sistemas CAD en 50 tomografías computarizadas que contenían nódulos pulmonares que los radiólogos habían pasado por alto previamente (10). Los sistemas CAD detectaron del 56 al 70% de las lesiones pulmonares que originalmente no se habían detectado, incluido el 17% de los cánceres de menos de 3 mm y el 69 al 78% de los cánceres de entre 3 y 6 mm, tamaños que los observadores expertos suelen pasar por alto (10). Estos hallazgos sugieren que los sistemas CAD pueden lograr un desempeño similar al de los lectores humanos en el reconocimiento de lesiones difíciles, y que pueden resultar una herramienta invaluable en la detección de nódulos pulmonares pequeños en etapa temprana (10).

Nasrullah y colaboradores demostraron un sistema de aprendizaje profundo con capacidades de clasificación del grado de malignidad y de detección de nódulos pulmonares que alcanzó una sensibilidad del 94% y una especificidad del 91% (19). Sin embargo, los esfuerzos no se han enfocado solo en la detección de los nódulos pulmonares, sino también en la clasificación de estos (19). Ardila y colaboradores propusieron un sistema de aprendizaje profundo para predecir el ries-

go de malignidad en el cribado de tomografía computarizada de bajas dosis utilizando un conjunto de datos de más de 20.000 pacientes (20). Este sistema fue capaz de lograr reducciones absolutas de falsos positivos y falsos negativos del 11% y el 5%, respectivamente (20). Adicionalmente, el rendimiento del modelo fue equivalente o levemente superior al de los hallazgos reportados por los 6 radiólogos cuando se analizaron solo las tomografías, mientras que los rendimientos fueron equivalentes al radiólogo cuando se incluían los antecedentes personales de los pacientes (20).

La automatización a través de la IA puede considerar una gran cantidad de características cuantitativas junto a los hallazgos imagenológicos e incorporarlos en modelos de clasificación o modelos pronósticos (4,6). Por ejemplo, es difícil para los seres humanos predecir con precisión el estado de malignidad de una lesión pulmonar debido a la similitud entre los nódulos benignos y malignos en las tomografías computarizadas (4). La IA puede identificar automáticamente estas características al combinar el aprendizaje profundo de objetos con biomarcadores de las imágenes (4,21). Por lo tanto, la combinación con biomarcadores serológicos podría usarse para predecir la probabilidad de malignidad, el diagnóstico diferencial, el pronóstico y la respuesta al tratamiento (4,21). En la detección de lesiones en mamografías, los primeros resultados muestran que la utilización de CNN en combinación con datos clínicos y demográficos poseen un desempeño diagnóstico de alta sensibilidad y muestran un rendimiento similar en comparación con lectores humanos altamente capacitados (4,21).

Imágenes obtenidas de forma más rápida y eficiente

Los métodos de procesamiento de datos basados en el aprendizaje automático tienen el potencial de reducir el tiempo de obtención de imágenes (16). Se ha demostrado cómo el aprendizaje profundo se puede aplicar

para optimizar el procesamiento de la adquisición de datos de difusión por resonancia a solo un paso (16,22). Los algoritmos sugieren modificaciones en la secuencia durante la resonancia magnética para lograr una caracterización óptima de la lesión mientras que logran un tiempo de escaneo reducido doce veces (22).

Disrupción de la radiología: El papel de la IA

Es imposible desconocer que el aumento creciente en la necesidad de imágenes diagnósticas y el desarrollo cada vez mayor de tecnologías de vanguardia han impuesto desafíos adicionales sobre los radiólogos (10,23). La variabilidad en la experiencia entre observadores, el agotamiento físico y mental tras horas de evaluación de imágenes, son problemas que pueden provocar análisis erróneos e incompletos por parte de los profesionales y que las nuevas tecnologías pueden tener un campo de acción (23,24).

En los últimos años, los volúmenes de imágenes han crecido a un ritmo desproporcionado (23). Un estudio en la Clínica Mayo de 2015 reveló que un radiólogo promedio que interpreta exámenes de tomografía debe evaluar una imagen cada 3-4 segundos en una jornada laboral de 8 horas para cumplir con las demandas de una institución de alto nivel (25). En este sentido, la urgente necesidad de optimizar los procesos y disminuir la tasa de errores ha llevado a la integración de la IA en los procesos de diagnóstico imagenológico (26). Redes de aprendizaje profundo integradas a los flujos de trabajo de los radiólogos podrían convertirse en herramientas invaluable para alcanzar los objetivos de evaluación y diagnóstico (26). Las herramientas de inteligencia artificial podrían reducir la variación en la práctica y automatizar la detección de anomalías en las imágenes (23,26). Adicionalmente, se ha demostrado que muchos sistemas de IA tienen la capacidad de reconocer patrones de alta complejidad en los datos de las imágenes con una evaluación cuantitativa que

puede proporcionar a los radiólogos capacitados imágenes preseleccionadas con características preidentificadas (26,27).

En un futuro, no lejano, es probable que la integración de CAD basado en IA con los sistemas de comunicaciones y archivo de imágenes alimentado que compone el Big Data, tenga un alto impacto en el refuerzo del papel de la IA en radiología (10). La incorporación de estos cambios sostiene la promesa de ayudar a salvaguardar la calidad de la atención al paciente, y de mejorar el flujo de trabajo (13,28).

En los últimos años, varios sistemas de IA han alcanzado rendimientos diagnósticos equiparables al ser humano (23). Algunos investigadores consideran que los CNN pueden realizar una valoración radiológica más rápida, más barata, más eficiente y con una calidad equiparable a la de los seres humanos (29). Esto ha llevado a la especulación creciente acerca del eventual reemplazo de la profesión de radiología por sistemas informáticos (29). Existe el temor creciente, casi distópico, de que los seres humanos sean reemplazos por las máquinas (9).

Si bien, la postura general suele ser más moderada y menos apocalíptica, el consenso actual considera que la IA no reemplazará a los radiólogos, solo los hará más eficientes (30). Se considera que los algoritmos de IA serán el respaldo de los radiólogos mejorando la precisión del diagnóstico (30). Se espera que la IA complemente, sin reemplazar, al radiólogo, quien formulará un juicio independiente antes de considerar el resultado del algoritmo de IA (26). No obstante, en situaciones extremas, en las que exista alta carga laboral puede existir el riesgo de que los radiólogos acepten la lectura de la IA y no formulen un juicio independiente (26).

El doctor Maciej A. Mazurowsk, ingeniero y experto en sistemas informáticos del departamento de radiología de la Universidad Duke, publicó en 2019 una interesan-

te revisión narrativa que contiene las principales especulaciones referentes al futuro de la IA en la radiología y su potencial disrupción en el papel de la radiología (23). Examinando argumentos que los radiólogos sostienen para defender la presunta imposibilidad de que sistemas de IA reemplacen la labor humana, Mazurowsk presenta una interesante perspectiva de la situación actual de los CNN en el panorama de la radiología (23).

El primer argumento presentado por Mazurowsk es que los sistemas de aprendizaje profundo nunca podrán interpretar imágenes tan bien como los humanos. Este argumento se deriva de la milenaria y riesgosa postura que considera a la inteligencia humana como una institución superior e imbatible. Como se mencionaba previamente, se han desarrollado robustos algoritmos de radiómica con rendimientos diagnósticos equiparables al ser humano (21). La potencia informática del Big data ha permitido enriquecer la suficiencia de los algoritmos a una velocidad pasmosa (17,19). A continuación, se presentarán casos distintos y complementarios a los del doctor Mazurowsk que demuestran que los sistemas informáticos pueden ser equiparables a la experticia médica, inclusive en contextos de emergencia que han obligado a su desarrollo en cortos periodos de tiempo. Durante la pandemia de COVID-19, Chen y colaboradores construyeron un sistema basado en el aprendizaje profundo para detectar la neumonía COVID-19 en TC de alta resolución. Para el desarrollo y la validación del modelo, se recopilaron retrospectivamente 46.096 imágenes anónimas de 106 pacientes ingresados, incluidos 51 pacientes con neumonía COVID-19 confirmada por laboratorio y 55 pacientes de control de otras enfermedades en el Hospital Renmin de la Universidad de Wuhan (31). El modelo logró una precisión por paciente del 95,24% y una precisión por imagen del 98,85% en un conjunto de datos retrospectivo interno (31). Para 27 posibles pacientes internos, el sistema logró un rendimiento comparable al de un radiólogo experto (31). Con la ayuda del modelo, el tiempo de lectura de los radiólogos se redujo conside-

rablemente en un 65% (31). El modelo de aprendizaje profundo mostró un rendimiento comparable con el de un radiólogo experto y mejoró enormemente la eficiencia de los radiólogos en la práctica (31).

El segundo argumento que trae a colación Mazurowski es: Los radiólogos hacen mucho más que simplemente leer imágenes (23). Otras actividades realizadas por los radiólogos incluyen procedimientos de radiología intervencionista y labores como la valoración de pacientes en consulta externa (23,24). La visión más pesimista nos plantea un futuro en que la IA realice todas las tareas de un radiólogo menos los procedimientos y la valoración en consulta (23). Es evidente que la IA no desaparecerá la labor del radiólogo, pero tiene el potencial de disminuir el requerimiento de muchas de sus funciones actuales (2,14). En este sentido, es posible anudar el tercer argumento que nos presenta el autor: los radiólogos podrán dedicar más tiempo para ver pacientes, discutir casos con médicos de atención primaria y oncólogos o analizar casos particularmente difíciles (23). ¿Por qué los radiólogos no lo hacen ahora? ¿Por qué en la actualidad no se contratan más radiólogos que hagan estas tareas? ¿Existe una real demanda de estas funciones? En el sistema de salud colombiano, con un déficit palpable de especialistas y con unas agremiaciones médicas y académicas que parecen restringir el acceso a las residencias médicas, no existe la demanda para el cumplimiento de dichas tareas (32). Para Mazurowski, en el sistema de salud estadounidense la realidad no es distinta (23).

El rol del radiólogo en la implementación y desarrollo de la IA

A pesar de la revolución que promete la integración de la IA al flujo del trabajo, el escenario puede ser menos distópico de lo que podría parecer para algunos pesimistas. La integración de la IA proveerá una mayor precisión y las funciones de los radiólogos se ampliarán a medida que se conecten más a la tecnología

(33). El radiólogo puede encontrar su espacio en los escenarios críticos para el proceso de entrenamiento de IA, aportando conocimiento y supervisando la eficacia (33). Los operadores humanos supervisarán los resultados y buscarán los medios de validación y como una forma de descubrir información oculta que podría haberse pasado por alto (33). A continuación, se presentan algunas actividades de la práctica diaria en las que tiene aplicación la IA.

Gestionar el flujo de trabajo

En la actualidad, los radiólogos se enfrentan a avalanchas de imágenes para su valoración e interpretación, con poco espacio para conocer el contexto clínico y con amplias dificultades para priorizar la interpretación de exámenes anormales. La IA puede ofrecer la gestión de la lista de trabajo de IA (6,33). Existen algoritmos que pueden identificar radiografías de tórax anormales con la intención de acelerar la interpretación de un examen anormal (6). Así mismo, se están desarrollando algoritmos que permiten clasificar las tomografías de cráneo sin contraste con el fin de detectar y priorizar la valoración de las imágenes de pacientes que estén cursando con hemorragia intracraneal o accidente cerebrovascular (6). Las listas de trabajo inteligente podrían reducir los tiempos de diagnóstico y tratamiento al indicar cuales imágenes deberían ser interpretadas primero por el radiólogo (6). También se podrían utilizar para marcar estudios que potencialmente pueden ser no diagnósticos y requieren ser repetidos (6). La capacidad de la IA permitirá identificar estructuras dentro de la imagen e integrar esa información con los metadatos para minimizar los tiempos de diagnóstico y tratamiento urgente (33).

Considerar la herramienta apropiada según la necesidad clínica

¿Cuál es la tecnología más apropiada para el diagnóstico de cierta entidad en cierto tipo de paciente y con

cierto tipo de imagen según los hallazgos clínicos? ¿Qué escenarios clínicos se benefician del uso de cada IA? Los radiólogos son los profesionales propicios para evaluar los escenarios clínicos en los cuales usar y aprovechar cada tecnología de IA (24). El Instituto de Ciencia de Datos (DSI) del Colegio Americano de Radiología (ACR) ha desarrollado un manual que proporciona una descripción narrativa de las necesidades clínicas que abordan algunos sistemas de IA y los resultados que produce para el radiólogo (24). Estos esfuerzos buscan que los radiólogos elijan la tecnología que les brinde la información necesaria según la necesidad clínica a la cual se enfrenten (17,24). Incluir a la necesidad clínica como un criterio permanente en el flujo de trabajo diario permite mejorar la calidad y eficiencia de la atención al paciente (34).

Reducir el flujo de trabajo y contribuir a la interpretación

Un sistema de IA coordinado con Big Data no solo podría reconocer y clasificar las lesiones, sino que también podría, por ejemplo, diagnosticar y cuantificar la cardiomegalia o producir un diagnóstico diferencial de la enfermedad pulmonar intersticial (2,10). Esto puede permitir administrar la carga de trabajo y mejorar el desempeño individual y reducir el error humano (2). La CAD puede mostrar sus hallazgos primero para ser interpretados por el radiólogo, quien luego hace el diagnóstico final (10).

Evaluar la capacidad de las herramientas de IA

El doctor Daniel L. Rubin, del departamento de información biomédica de la Universidad de Stanford, sostiene que una de las mayores tareas de la radiología en el futuro del IA es entrenar, probar y respaldar la tarea de los algoritmos (24). Los algoritmos entrenados con aprendizaje profundo pueden poseer sesgos que impiden la generalización de sus valoraciones (24,28).

Los datos de entrenamiento surgen de bases de datos limitadas lo que podría dificultar la generalización de los parámetros de imagen usados en la práctica, en especial en condiciones singulares y enfermedades raras (28). Existen escenarios clínicos con demasiados patrones de práctica y otras idiosincrasias locales que hacen que el aprendizaje de un modelo de amplia aplicación sea difícil de instaurar (7). La ausencia de validación externa contribuye a que algunos algoritmos fallen en la generalización y pierdan fuerza en su rendimiento (24). En consecuencia, es imperativo que los radiólogos evalúen el rendimiento de los algoritmos de IA en los datos en su práctica local (7).

Para la evaluación de los algoritmos se proponen una serie de pasos. El primer paso es determinar cuáles son los resultados esenciales en determinados contextos y para determinadas necesidades clínicas (24). La tecnología de IA debe ser capaz de alcanzar cada uno de estos resultados con la caracterización suficiente que existe un diagnóstico y una terapéutica de calidad (24). El segundo paso es recopilar casos de prueba: una cohorte de pacientes representativos de cada escenario clínico a nivel local. Esta muestra de pacientes permitirá evaluar la capacidad de los algoritmos en la generalización (24). El tamaño del grupo de prueba dependerá de la prevalencia de la condición en la población y de las clases de salida de cada algoritmo (24).

El tercer paso es establecer el campo de la verdad para caso de prueba (24). Este paso requiere la historia clínica del paciente y los informes de radiología para obtener un estándar de referencia (24). Una vez se ha llevado el tercer paso, es necesario elegir la métrica de evaluación adecuada para el algoritmo de IA (24). En este cuarto paso es necesario comparar la determinación de cada tecnología de IA con la verdad fundamental para cada caso (24). En esta comparación se requiere conocer las métricas de rendimiento, detección y diagnóstico aplicables a cada tecnología y a cada caso clínico particular (24). El quinto paso es definir un umbral de rendimiento para la

métrica que un radiólogo desea alcanzar para decidir que un algoritmo de IA será útil en la práctica (24).

El sexto paso es evaluar los casos de prueba contra la métrica. Esto se hace enviando los casos de prueba al algoritmo de IA, comparando con la verdad y creando una matriz de confusión (24). La matriz de confusión es una tabla que permite calcular las métricas de rendimiento de IA (24). Finalmente, el último paso implica la implementación de una estrategia para monitorear el desempeño de la IA, que generalmente se realiza repitiendo intermitentemente los pasos anteriores con un nuevo conjunto de pruebas (adquirido más recientemente (24).

El entrenamiento permanente de radiólogos

La dependencia de la tecnología podría afectar negativamente la formación de los futuros radiólogos (2). Independientemente de las capacidades de la IA, los radiólogos deben garantizar a sus estudiantes el aprendizaje de las habilidades de observación e interpretación críticas que hacen de la radiología una disciplina única (24).

La regulación de la IA

Comprobar que un sistema informático es capaz de detectar lesiones neoplásicas de forma temprana con mayor eficiencia que un radiólogo entrenado, con pocos riesgos adicionales, es un argumento suficiente para que las agencias reguladoras de medicamentos y tecnologías no pasen por alto los modelos de IA (23). A su vez, el costoso proceso de los ensayos clínicos para probar nuevos fármacos ha generado el creciente interés en la creación de software que faciliten el proceso y permitan ahorrar recursos (35). Así mismo, se están desarrollando múltiples modelos que solucionan las ineficiencias de los registros médicos electrónicos y potencialicen el diligenciamiento correcto de las historias clínicas (35). Las empresas de informática trabajan

con un ritmo acelerado en el desarrollo de tecnologías de IA para diversos campos de la medicina (2,10,23).

Ante la escasez de médicos especialistas en distintos contextos alrededor del mundo y con el requerimiento cada vez mayor de escenarios de atención primaria más eficientes, no es descabellado pensar en un futuro con más tecnologías de IA acompañando la labor de atención médica básica (10,24). En el sistema de salud colombiano es normal que los médicos de atención primaria no tengan la posibilidad de recibir interpretaciones rápidas de las imágenes diagnósticas que solicitan y deban hacer un abordaje terapéutico soportado en su propia interpretación. Son escasos los hospitales con médicos radiólogos en sus servicios de urgencias o que interpreten imágenes en las noches o los fines de semana. Adicionalmente, no son pocas las situaciones complejas en que los médicos generales y algunos especialistas proporcionan interpretaciones de las imágenes sin la supervisión de un radiólogo (25). Aunque las agencias reguladoras no apoyan el uso de IA para la interpretación de imágenes diagnósticas sin el concepto de un radiólogo, hay un creciente interés en facilitar la comercialización de dispositivos de IA que soporten la labor de los médicos generales (34).

Entidades como la Agencia de los Estados Unidos para la Administración de Drogas y Comidas (FDA, por sus siglas en inglés) y la Agencia de Medicinas Europea (EMA, por sus siglas en inglés) mantienen una visión positiva ante las tecnologías de IA en radiología, y sus legislaciones se han vuelto más laxas en los últimos años (9). No obstante, la capacidad de producir algoritmos de IA está superando la minuciosidad con la que se evalúa la validez externa de dichas tecnologías (36). Aunque los productos que se someten a la revisión de la FDA para su aprobación regulatoria son sometidos a varias validaciones, la vigilancia posterior a la comercialización es pobre. Algunos radiólogos pueden tener la tentación de asumir que dicha recopilación de datos y evaluación de métricas no es necesaria, asumiendo que

la IA funcionará bien en sus pacientes si el algoritmo ha sido aprobado por la FDA (24). No obstante, las bases de datos que utiliza la FDA para validar los algoritmos la mayoría de las veces no son lo suficientemente generalizables en varios contextos clínicos (24).

El desarrollo y la implementación de las pautas regulatorias deberán marchar al mismo ritmo de los avances en IA (24,37). Los criterios para evaluar la IA han comenzado a centrarse en lograr la aprobación de innovaciones médicas con mayor rapidez cada vez (34). En este sentido, la FDA anunció en 2018 el desarrollo del Programa de precertificación (También conocido como Pre-Cert) de software de salud digital (Pre-Cert), que busca agilizar la regulación de la tecnología de software, incluidos los productos de inteligencia artificial (34). Esta ley certifica que una organización puede llevar un producto al mercado sin revisión previa a la comercialización, siempre que el producto se considere de menor riesgo (34). No obstante, la implementación en el mundo real podría resultar un desafío porque no hay un precedente establecido de la medición de la validez externa de estas tecnologías (34). Algunos expertos en atención médica han expresado su preocupación de que el enfoque Pre-Cert pueda dar un sello de aprobación sin que este software haya mostrado un beneficio clínico validado (34,37). En este sentido, es fundamental la labor de cada radiólogo, su participación en la evaluación para establecer cuan generalizable es cada algoritmo en el contexto definido.

Conclusiones

El desarrollo y la integración de la IA en la radiología supone una revolución en su práctica. La expansión continua de los algoritmos y su evolución sin pausa, prometen ser el compañero de respaldo del radiólogo en su búsqueda de mejorar la eficiencia y reducir la variabilidad sin renunciar a la precisión. Las herramientas de la IA ofrecen múltiples oportunidades para satisfacer las necesidades de los radiólogos y fortalecer la

calidad en la atención médica, y los radiólogos deben convertirse en protagonistas de esta revolución. No se espera que los algoritmos reemplacen la experticia de los radiólogos entrenados, sin embargo, aquellos radiólogos que utilicen estas herramientas si reemplazarán a los radiólogos que no lo hagan. En ese sentido, es necesario adaptarse a los nuevos sistemas como constructores y consumidores informados. El radiólogo del futuro debe contemplar todas las necesidades clínicas que importan en sus prácticas para evaluar si las herramientas de IA satisfacen esas necesidades. Así mismo, el radiólogo del futuro debe ser consciente de los peligros potenciales de depender demasiado de la tecnología. Es necesario que el radiólogo ejerza un entrenamiento permanente para mantener sus habilidades clínicas. En última instancia, el radiólogo debe seguir siendo el encargado del cuidado del paciente, no de la tecnología, y será el radiólogo quien finalmente se beneficiará de monitorear la evolución de estas herramientas.

La gran cantidad de publicaciones sobre IA ha superado a otros dominios que también crecen a un ritmo muy rápido. En este momento de la historia, los radiólogos poseen un papel protagónico en el desarrollo de la medicina. Un mejor juicio clínico por parte de los radiólogos en combinación con las nuevas tecnologías ayudará a mejorar la calidad de vida de los pacientes y de los clínicos y optimizará las decisiones clínicas. Las predicciones que sugieren que la inteligencia artificial dejará a los radiólogos por fuera del área de la salud resultan, a la fecha actual, poco probables y es mucho más probable que sean los radiólogos quienes absorban todos estos métodos de IA dentro de su práctica clínica.

Referencias

1. Dumić-Čule I, Orešković T, Brkljačić B, Tiljak MK, Orešković S. The importance of introducing artificial intelligence to the medical curriculum – assessing practitioners' perspectives. *Croatian Medical Journal*. 2020;61(61):457–64.

2. Gampala S, Vankeshwaram V, Gadula SSP. Is Artificial Intelligence the New Friend for Radiologists? A Review Article. *Cureus*. 2020 Oct 24;12(10):e11137. doi: 10.7759/cureus.11137.
3. Zhao X, Qi S, Zhang B, Ma H, Qian W, Yao Y, et al. Deep CNN models for pulmonary nodule classification: Model modification, model integration, and transfer learning. *J Xray Sci Technol*. 2019;27(4):615–29.
4. Saba L, Biswas M, Kuppili V, Cuadrado Godia E, Suri HS, Edla DR, et al. The present and future of deep learning in radiology. *Eur J Radiol*. 2019 May;114:14–24. doi: 10.1016/j.ejrad.2019.02.038. Epub 2019 Mar 2.
5. Hardy M, Harvey H. Artificial intelligence in diagnostic imaging: impact on the radiography profession. *Br J Radiol*. 2020 Apr;93(1108):20190840. doi: 10.1259/bjr.20190840. Epub 2019 Dec 16.
6. Syed AB, Zoga AC. Artificial Intelligence in Radiology: Current Technology and Future Directions. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2018 Nov;22(5):540–545. doi: 10.1055/s-0038-1673383. Epub 2018 Nov 6.
7. Futoma J, Simons M, Panch T, Doshi-Velez F, Celi LA. The myth of generalisability in clinical research and machine learning in health care. *Lancet Digit Health*. 2020 Sep;2(9):e489–e492. doi: 10.1016/S2589-7500(20)30186-2. Epub 2020 Aug 24.
8. Recht MP, Dewey M, Dreyer K, Langlotz C, Niessen W, Prainsack B, et al. Integrating artificial intelligence into the clinical practice of radiology: challenges and recommendations. *Eur Radiol*. 2020 Jun;30(6):3576–3584. doi: 10.1007/s00330-020-06672-5. Epub 2020 Feb 17.
9. Rubin DL. Artificial Intelligence in Imaging: The Radiologist's Role. *J Am Coll Radiol*. 2019;16(9):1309–17.
10. Fazal MI, Patel ME, Tye J, Gupta Y. The past, present and future role of artificial intelligence in imaging. *Eur J Radiol*. 2018 Aug;105:246–250. doi: 10.1016/j.ejrad.2018.06.020. Epub 2018 Jun 22.
11. Mascarenhas VV, Caetano A, Dantas P, Rego P. Advances in FAI Imaging: a Focused Review. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2020 Oct;13(5):622–640. doi: 10.1007/s12178-020-09663-7.
12. Chen J, Wu L, Zhang J, Zhang L, Gong D, Zhao Y, et al. Deep learning-based model for detecting 2019 novel coronavirus pneumonia on high-resolution computed tomography. *Sci Rep*. 2020 Nov 5;10(1):19196. doi: 10.1038/s41598-020-76282-0.
13. Roy D, Panda P, Roy K. Tree-CNN: A hierarchical Deep Convolutional Neural Network for incremental learning. *Neural Netw*. 2020 Jan;121:148–160. doi: 10.1016/j.neunet.2019.09.010. Epub 2019 Sep 19.
14. Jing Y, Bian Y, Hu Z, Wang L, Xie XQ. Deep Learning for Drug Design: an Artificial Intelligence Paradigm for Drug Discovery in the Big Data Era. *AAPS J*. 2018 Mar 30;20(3):58. doi: 10.1208/s12248-018-0210-0.
15. Pianykh OS, Langs G, Dewey M, Enzmann DR, Herold CJ, Schoenberg SO, et al. Continuous Learning AI in Radiology: Implementation Principles and Early Applications. *Radiology*. 2020 Oct;297(1):6–14. doi: 10.1148/radiol.2020200038. Epub 2020 Aug 25.
16. McMillan AB. Making your AI smarter: Continuous learning artificial intelligence for radiology. *Radiology*. 2020;23(297):15–16.
17. Geras KJ, Mann RM, Moy L. Artificial Intelligence for Mammography and Digital Breast Tomosynthesis: Current Concepts and Future Perspectives. *Radiology*. 2019 Nov;293(2):246–259. doi: 10.1148/radiol.2019182627. Epub 2019 Sep 24.
18. Ather S, Kadir T, Gleeson F. Artificial intelligence and radiomics in pulmonary nodule management: current status and future applications. *Clin Radiol*. 2020 Jan;75(1):13–19. doi: 10.1016/j.crad.2019.04.017. Epub 2019 Jun 12.
19. Nasrullah N, Sang J, Alam MS, Mateen M, Cai B, Hu H. Automated Lung Nodule Detection and Classification Using Deep Learning Combined with Multiple Strategies. *Sensors (Basel)*. 2019 Aug 28;19(17):3722. doi: 10.3390/s19173722.
20. Ardila D, Kiraly AP, Bharadwaj S, Choi B, Reicher JJ, Peng L, et al. End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography. *Nat Med*. 2019 Jun;25(6):954–961. doi: 10.1038/s41591-019-0447-x. Epub 2019 May 20.
21. Binczyk F, Prazuch W, Bozek P, Polanska J. Radiomics and artificial intelligence in lung cancer screening. *Transl Lung Cancer Res*. 2021 Feb;10(2):1186–1199. doi: 10.21037/tlcr-20-708.
22. Sun Y, Reynolds HM, Parameswaran B, Wraith D, Finnegan ME, Williams S, et al. Multiparametric MRI and radiomics in prostate cancer: a review. *Australas Phys Eng Sci Med*. 2019 Mar;42(1):3–25. doi: 10.1007/s13246-019-00730-z. Epub 2019 Feb 14.
23. Mazurowski MA. Artificial Intelligence May Cause a Significant Disruption to the Radiology Workforce. *J Am Coll Radiol*. 2019 Aug;16(8):1077–1082. doi: 10.1016/j.jacr.2019.01.026. Epub 2019 Apr 8.
24. Rubin DL. Artificial Intelligence in Imaging: The Radiologist's Role. *J Am Coll Radiol*. 2019 Sep;16(9 Pt B):1309–1317. doi: 10.1016/j.jacr.2019.05.036.
25. Lalwani N, Shanbhogue KP, Jambhekar K, Jha S, Ram R, Itri JN, et al. New Job, New Challenges: Life After Radiology Training. *AJR Am J Roentgenol*. 2019 Mar;212(3):483–489. doi: 10.2214/AJR.18.20398. Epub 2019 Jan 30.
26. Yasaka K, Abe O. Deep learning and artificial intelligence in radiology: Current applications and future directions. *PLoS Med*. 2018 Nov 30;15(11):e1002707. doi: 10.1371/journal.pmed.1002707.

27. Mayo RC, Leung J. Artificial intelligence and deep learning - Radiology's next frontier? Clin Imaging. 2018 May-Jun;49:87-88. doi: 10.1016/j.clinimag.2017.11.007. Epub 2017 Nov 16.
28. Kim DW, Jang HY, Kim KW, Shin Y, Park SH. Design Characteristics of Studies Reporting the Performance of Artificial Intelligence Algorithms for Diagnostic Analysis of Medical Images: Results from Recently Published Papers. Korean J Radiol. 2019 Mar;20(3):405-410. doi: 10.3348/kjr.2019.0025.
29. Jin C, Chen W, Cao Y, Xu Z, Tan Z, Zhang X, et al. Development and evaluation of an artificial intelligence system for COVID-19 diagnosis. Nat Commun. 2020 Oct 9;11(1):5088. doi: 10.1038/s41467-020-18685-1.
30. Kobayashi Y, Ishibashi M, Kobayashi H. How will "democratization of artificial intelligence" change the future of radiologists? Jpn J Radiol. 2019 Jan;37(1):9-14. doi: 10.1007/s11604-018-0793-5. Epub 2018 Dec 21.
31. Chen J, See KC. Artificial Intelligence for COVID-19: Rapid Review. J Med Internet Res. 2020 Oct 27;22(10):e21476. doi: 10.2196/21476.
32. ¿Hay déficit de especialistas médicos en Colombia? - Razón Pública [Internet]. 2018 [citado el 13 de junio de 2021]. Disponible en: <https://razonpublica.com/hay-deficit-de-especialistas-medicos-en-colombia/>
33. Huynh E, Hosny A, Guthrie C, Bitterman DS, Petit SF, Haas-Kogan DA, et al. Artificial intelligence in radiation oncology. Nat Rev Clin Oncol. 2020 Dec;17(12):771-781. doi: 10.1038/s41571-020-0417-8. Epub 2020 Aug 25.
34. Harrington SG, Johnson MK. The FDA and Artificial Intelligence in Radiology: Defining New Boundaries. J Am Coll Radiol. 2019 May;16(5):743-744. doi: 10.1016/j.jacr.2018.09.057. Epub 2018 Dec 7.
35. Albahri OS, Zaidan AA, Albahri AS, Zaidan BB, Abdulkareem KH, Al-Qaysi ZT, et al. Systematic review of artificial intelligence techniques in the detection and classification of COVID-19 medical images in terms of evaluation and benchmarking: Taxonomy analysis, challenges, future solutions and methodological aspects. J Infect Public Health. 2020 Oct;13(10):1381-1396. doi: 10.1016/j.jiph.2020.06.028. Epub 2020 Jul 1.
36. Keek SA, Leijenaar RT, Jochems A, Woodruff HC. A review on radiomics and the future of theranostics for patient selection in precision medicine. Br J Radiol. 2018 Nov;91(1091):20170926. doi: 10.1259/bjr.20170926. Epub 2018 Jul 5.
37. Benjamens S, Dhunoo P, Meskó B. The state of artificial intelligence-based FDA-approved medical devices and algorithms: an online database. NPJ Digit Med. 2020 Sep 11;3(1):118. doi: 10.1038/s41746-020-00324-0. PMID: 34508167.

Recibido: 12 de noviembre de 2021

Aceptado: 22 de noviembre de 2021

Correspondencia:

Gabriela Puentes

gabriela.puentes@urosario.edu.co