

Results and conclusions

Radiology goes hand in hand with technological advances, among which the application of artificial intelligence for various activities of the profession stands out, which makes it necessary for the professional in this area to become an expert in the subject, in order to be able to make extensive use of its applications, especially in the management of the processing time of results and diagnostic accuracy, and to lead the introduction of this technology in medicine.

Contextualización del tema

La radiología es una profesión que se basa en tecnología que permite la visualización de imágenes (1) por lo que se convierte en susceptible de cualquier avance tecnológico en este campo de forma más precoz que otras áreas de la medicina (2), siendo influenciado por la aparición de nuevas oportunidades de desempeño en la práctica (1), y, debido a que la radiología no se dedica exclusivamente a la lectura de imágenes diagnósticas (3), los algoritmos de inteligencia artificial pueden aplicarse en múltiples problemas diagnósticos (4).

Por lo anterior, se ha creado un ambiente de ansiedad y desconfianza respecto al posible desplazamiento o reemplazo de los radiólogos en el ámbito clínico, basado en la idea de que los algoritmos de inteligencia artificial pueden realizar el trabajo de un especialista de forma más rápida y barata (3).

El término "inteligencia artificial" se refiere a un conjunto de teoría y sistemas computacionales que son capaces de realizar actividades que normalmente requerirían habilidades propias de la inteligencia humana, como la percepción visual, reconocimiento de voz, toma de decisiones y predicción (1).

En los últimos años se ha visto un desarrollo rápido de aplicaciones de la inteligencia artificial adaptadas a la imagenología diagnóstica (1, 5), lo que ha impactado las capacidades del radiólogo en su práctica clínica (5) al influir en aspectos como la digitalización de datos de los pacientes, el apoyo en la toma de decisiones clínicas (6), o el acortamiento en los tiempos de lectura y la precisión con la que esta se realiza, dado que la valoración a nivel de píxeles de las imágenes digitalizadas está más allá de la capacidad del ojo humano (7). Sin embargo, este desarrollo no se centra solo en la tecnología de imagen, si no, también en la adopción de algoritmos en los equipos de procesamiento y revisión de imágenes (1).

A pesar de que se reconoce el potencial impacto positivo de la inteligencia artificial en la reducción de costos en los sistemas de salud y de la eficiencia

en los departamentos de radiología (4), aún hay desconocimiento sobre la forma en la que será introducida en la práctica radiológica actual, especialmente porque es un recurso que requiere grandes cantidades de datos y equipos adecuados para su uso, lo que daría pie a un despliegue inequitativo de las tecnologías, con segregaciones por países, regiones, o subgrupos sociales (8), así que, es evidente que se presentarán barreras para su implementación adecuada (9). Por otro lado, hay dudas entre los pacientes en cuanto al uso de esta tecnología en los procesos de escaneo y lectura de imágenes (10), por lo que se ha propuesto que el radiólogo participe activamente en los procesos de desarrollo de aplicaciones de la inteligencia artificial en su campo, ya que son expertos y su contribución puede mejorar la confianza en el uso de la IA entre los demás médicos y los pacientes (5).

Los profesionales en radiología han demostrado su liderazgo en cuanto aparecen las innovaciones tecnológicas, así que se deduce que ningún otro campo de la medicina se encuentra mejor calificado para confrontar los desafíos que propone la implementación de la inteligencia artificial (11). Acorde a esto, actualmente el consenso parece estar a favor del apoyo de la inteligencia artificial hacia las tareas del radiólogo, sin llegar a reemplazarlo (3), ya que se espera que se convierta en un apoyo y permita optimizar el trabajo mejorando la eficiencia y precisión del proceso diagnóstico (12). En esta revisión narrativa se discuten las actividades que le competen al radiólogo bajo la premisa de que el dominio de la influencia de la inteligencia artificial será clave en la práctica clínica futura, así como el impacto que los avances tecnológicos tienen entre los profesionales, los estudiantes y los pacientes.

Historia

La inteligencia artificial se considera el tercer paso en la revolución tecnológica, siendo el primero el almacenamiento de cantidades ilimitadas de datos organizados (computación), y el segundo su comunicación instantánea (internet). *Jhon McCarthy* fue el primero en acuñar el término "inteligencia artificial" durante el Proyecto de investigación de verano de *Dartmouth* sobre inteligencia artificial en 1956 (7). Sin embargo, el concepto de "cerebros artificiales" se atribuye a los pioneros de la computación: *Alan Turing* y *Konrad Zuse* (13), e incluso, se podría decir que la inteligencia artificial pudo tener sus raíces en el tercer siglo en China, con la mención de la invención de los robots.

El desarrollo de la inteligencia artificial se ha basado en la introducción de tecnologías que se han optimizado progresivamente, incluyendo las redes neuronales artificiales y los posteriores modelos de aprendizaje automático y profundo

Visión por computador	Un subtipo de IA que provee al computador la habilidad de identificar, procesar y clasificar imágenes en una forma similar a la visión humana
Reconocimiento de voz	Un subcampo de la IA que usa algoritmos para identificar frases o palabras en el lenguaje hablado y las convierte en formato de texto
Optimización y planeamiento	Un subcampo de la IA que se centra en la realización de estrategias o secuencias de acción para alcanzar una meta en específico
Aprendizaje automático	Estudio de algoritmos que pueden aprender de datos y hacer predicciones
Aprendizaje profundo	Un algoritmo particular de aprendizaje automático que se compone principalmente de redes neurales enormes e intrincadas
Redes neurales convolucionales	Un subtipo de aprendizaje profundo usado para analizar datos con un patrón específico capaz de aprender de forma adaptativa con jerarquías espaciales de niveles más bajos a más altos en cuanto a la organización de características
Aprendizaje supervisado	Modelado con etiquetado de datos
Aprendizaje no supervisado	Modelado con datos sin etiquetar
Aprendizaje por transferencia	Modelado a través de algoritmos previamente entrenados con modificaciones
Aprendizaje por refuerzo	Una parte del aprendizaje automático que permite a un agente externo aprender una tarea específica en un ambiente interactivo, basado en ensayo y error, y aplica una retroalimentación continua basada en su experiencia
Modelo	Estructura de datos matemáticos creados con algoritmos de aprendizaje automático que pueden predecir y mejorar
Regresión	Predicción de datos numéricos
Clasificación	Predicción de datos categóricos
Parámetro	Valor en modelos usualmente específicos de un algoritmo que se establece de acuerdo con los datos usados, sin intervención externa
Hiperparámetro	Valores de alto nivel en modelos únicos a algoritmos que pueden ser alterados por operadores externos
Modificación de hiperparámetros	Proceso de hallar los mejores hiperparámetros en el modelado
Datos de entrenamiento	Datos usados en el desarrollo de modelos
Datos de validación	Datos usados para modificar el modelo y abordar generalizabilidad interna
Datos de evaluación	Grupo de datos desconocidos usados para evaluar la generalizabilidad
Datos masivos	Toda la información, radiológica o no, que, debido a su amplio volumen y variedad, es muy compleja para ser manejada y analizada con software convencional
Radiómica	Un subcampo del aprendizaje automático dedicado a la extracción de propiedades cuantitativas de imágenes radiológicas usando algoritmos específicos que permiten obtener información más allá del análisis médico convencional
Etiqueta	Objetivos en estándares de referencia que los algoritmos de aprendizaje profundo intentan predecir
Estándar de referencia	Valores verdaderos o datos contra los que se genera el modelo propuesto
Sesgo	Diferencia entre la predicción y los valores actuales que ocurre cuando los modelos de predicción son sistemáticamente perjudicados por asunciones imprecisas
Desviación	Nivel de variabilidad entre las predicciones y los valores reales
Sobreajuste	Error de modelado que muestra alto entrenamiento y pobre desempeño en evaluación
Infraajuste	Error de modelado que muestra pobre entrenamiento y desempeño en evaluación.
Validación cruzada	Un método de validación generalmente usado en la fase de entrenamiento sin superposición entre las partes de validación
Validación independiente	Evaluación de la generalidad final usando instancias no conocidas
Regularización	Métodos para reducir el sobreajuste como el aumento, interrupción anticipada, métodos de conjuntos, regularización de parámetros
Reducción de dimensiones	Proceso de reducción del número de características usando métodos específicos como un algoritmo basado en selección de características
Selección de características	Selección de características relevantes con algoritmos particulares

Fuente: Basado en Noguero M, et al. *Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats Analysis of Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Radiology*, 2019, y de Kocak B, Kus EA, Kilickesmez O. *How to read and review papers on machine learning and artificial intelligence in radiology: a survival guide to key methodological concepts*, 2021(26, 27).

especificaciones funcionales para procesamiento de imágenes, sonidos, videos, etc. (25). En la Figura 1 se muestra un algoritmo de las jerarquías de la IA (15, 6), y en la tabla 1 se encuentran resumidas distintas definiciones básicas relacionadas con la inteligencia artificial (26, 27).

El ML es una subclase de la inteligencia artificial que crea algoritmos con la finalidad de aprender sin necesidad de programación previa (15, 6, 27), con el objetivo de proveer a la computadora la habilidad de aprender automáticamente y ajustar sus acciones de acuerdo con los datos ingresados y los resultados obtenidos (26, 27). Aquí, el programador elige las características objetivo de la imagen (15). Es el subtipo de IA más utilizado en radiología (26, 28).

Se pueden distinguir tres categorías principales entre los algoritmos de ML: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado, y el aprendizaje por refuerzo (6, 25, 27). En el aprendizaje supervisado el algoritmo aprende asociaciones bajo el análisis de datos revisados por un supervisor dentro de un proceso de entrenamiento. En el aprendizaje no supervisado el algoritmo estudia asociaciones en los datos sin una definición externa de las asociaciones, de forma que busca características comunes en los datos resultantes (6, 28, 27), y es posible que se relacione con la falta de información previa (28). En el aprendizaje por refuerzo el sistema aprende de

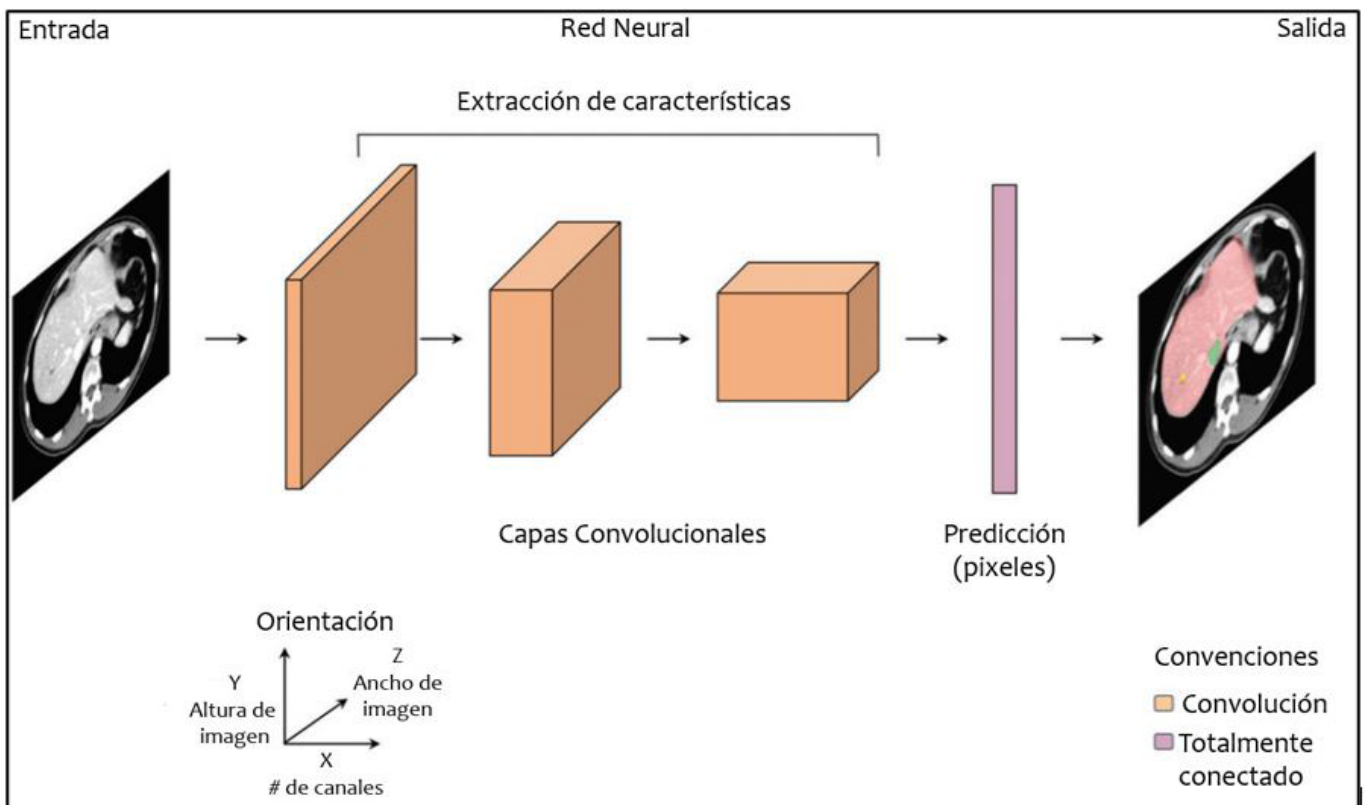
acuerdo con una señal de premio/castigo (6). En la tabla 2 se aprecian distintos estilos de aprendizajes (25).

El DL es la subclase siguiente de la IA. Aquí, el humano no realiza ninguna selección de características en la imagen (15). Se basa en el desarrollo de redes neurales artificiales (25, 23), que están inspiradas en el funcionamiento del cerebro humano (26, 17, 28), entre las cuales las más importantes son las redes neurales convolucionales (*Convolutional Neural Network (CNN)*) (15, 29).

Una red neural consiste en múltiples entradas digitalizadas que pasan a través de varias capas de "neuronas" conectadas, que progresivamente detectan características de los datos ingresados, como la forma o los bordes de la imagen, desde una capa de entrada hasta una de salida (30, 6, 23, 29), de modo que los datos de salida de algunas sean los de entrada de otras, sin interconexiones neurales entre las de la misma capa. En la figura 2 se aprecia un esquema del funcionamiento de las CNN (29).

Las CNN trabajan bajo la hipótesis de que los datos que entran son imágenes (15). Como característica es de resaltar que el humano no programa la red neural, si no solamente el número de capas que la conformarán (30). Aunque es posible explicar el proceso de una CNN con algoritmos matemáticos,

Figura 2: Esquema de funcionamiento de las redes neurales convolucionales en capas sucesivas.



Fuente: Tomado de Cheng PM, et al. *Deep Learning: An Update for Radiologists*, 2021(29).

diferencia notoria en el tiempo de dictado entre el grupo que realizaba el trabajo sin asistencia y el que usaba los preprocesadores, disminuyendo el tiempo usado en la interpretación de 12 a 7.5 minutos, lo que representa una disminución universal del 37% en tiempo usado por los radiólogos para interpretar imágenes de TAC con la implementación de los preprocesadores en el trabajo diario, siendo estadísticamente significativo (34).

Los algoritmos de IA tienen la posibilidad de reemplazar y cooperar con varias de las actividades de los clínicos, sin embargo, es improbable que reemplace la comunicación entre el paciente y el profesional (1). La IA puede disminuir el tiempo de lectura y mejora la precisión diagnóstica en la imagenología y optimiza los procedimientos en radiología intervencionista (7); además, se puede aplicar en otro tipo de imágenes médicas como cortes de patología, lesiones en piel, imágenes de retina, electrocardiogramas, endoscopias, e incluso signos vitales (16, 7).

Así mismo, los modelos de IA juegan un papel importante en la investigación biomédica al aplicarse en detección de riesgo y estratificación de patologías, tamizaje personalizado, predicción de respuesta a terapias y pronóstico (28, 12), y en la formación de nuevos especialistas ayudando a los estudiantes con novedosas plataformas que permitan mejorar sus habilidades procedurales y afianzar sus conocimientos en anatomía junto al uso de realidad aumentada y realidad virtual (12).

Aplicaciones de la inteligencia artificial adaptadas a la imagenología diagnóstica

La tecnología digital ha revolucionado el diagnóstico radiológico (14) al realizar actividades a una gran velocidad y a gran escala (1), reducir la carga de trabajo del especialista, prevenir el riesgo de errores médicos con sus correspondientes consecuencias legales, y optimizar la costo-efectividad (1); pero la parte humana juega un papel importante aún (14).

La mayoría de los artículos publicados en referencia al uso de la IA abordan temas como la

asistencia en la interpretación de imágenes y la automatización de otras tareas en radiología como el mejoramiento de imágenes, la segmentación de objetos, la protocolización automatizada de imágenes, detección de hallazgos críticos e, incluso, predicción clínica (35). En un estudio sistemático comparativo se encontró que es posible que un algoritmo de IA alcance los niveles de desempeño de un residente de radiología de tercer año en una gran cantidad de actividades. Sin embargo, los residentes se desempeñan mejor al detectar anomalías sutiles como masas y nódulos, varias formas de consolidaciones, aunque los algoritmos de IA detectan mejor anomalías claramente visibles y hallazgos considerados no anómalos (19). A pesar de esto, en la lectura de rayos x en proyección anteroposterior, en otro estudio, la IA superó el desempeño de los radiólogos (30).

La FDA ya ha desarrollado la primera guía para el desarrollo y aprobación de productos de inteligencia artificial (35) y parece interesada en mantener un marco regulatorio para mejorar la estandarización e integración de las tecnologías de IA en el campo de la salud (18). En la tabla 3 se encuentran enumeradas las áreas de aplicación clínica de la IA y su actual estado con respecto a desarrollo y disponibilidad (35).

Retos en la era de la inteligencia artificial

Existe un importante entusiasmo acerca de las potenciales aplicaciones de la IA, particularmente del DL, en la imagenología. Hay una baja proporción de radiólogos que usa actualmente la IA en su práctica diaria, lo que indica que aún estamos iniciando la implementación de su uso en clínica (20) con la implementación de datos en los reportes, con potenciales beneficios en términos de precisión diagnóstica e individualización de tratamientos (36). Estas herramientas han creado altas expectativas entre el personal de salud prometiendo eficiencia y calidad (9). En las figuras 3 se resumen las visiones del personal afectado por la aplicación de la IA en el campo de la radiología.

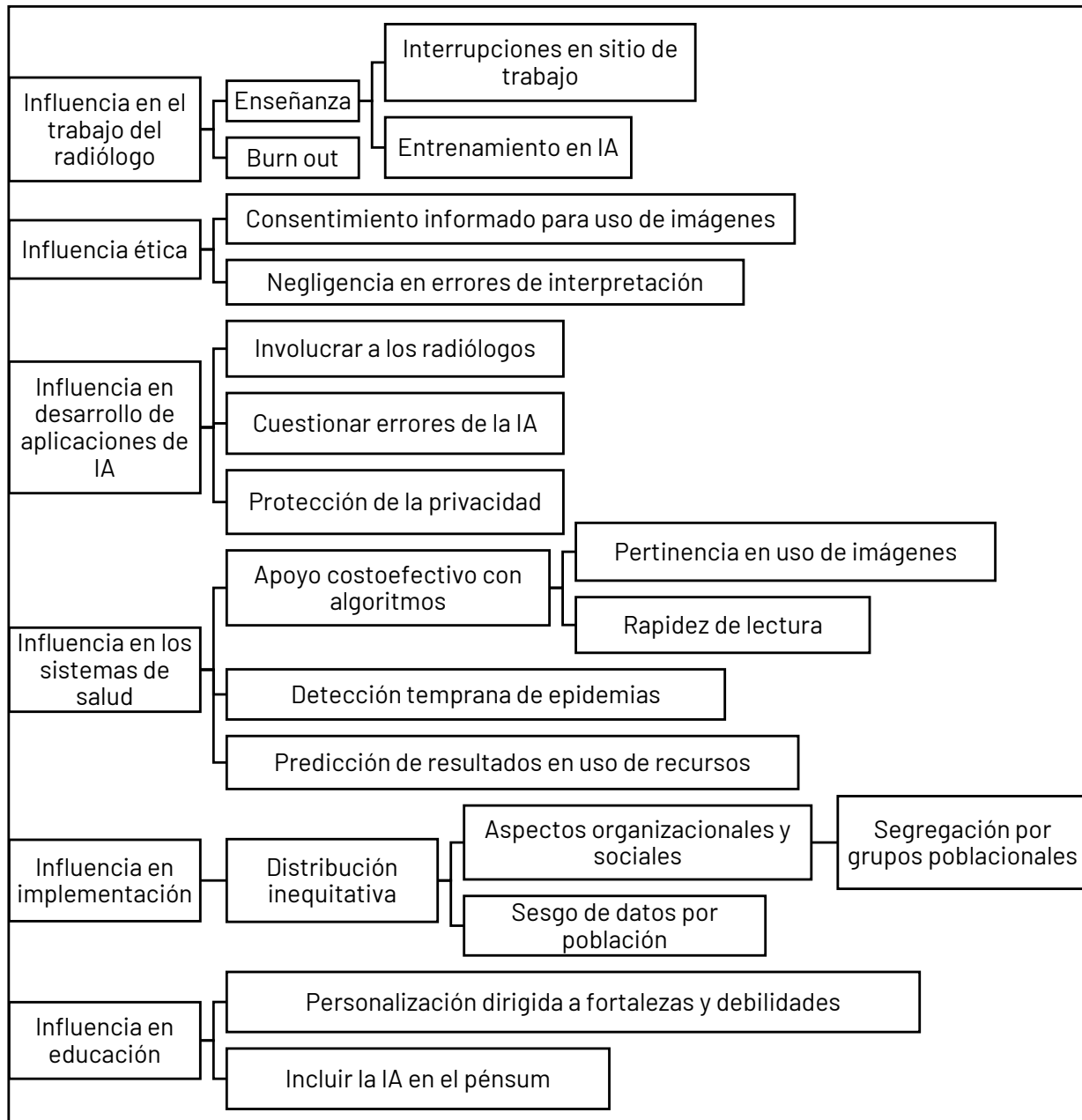
La FDA parece tener una actitud positiva frente

Tabla 3: Áreas de aplicación de la IA.

AREA DE APLICACIÓN	ESTADO ACTUAL
Mejora de imágenes Detección de enfermedades Segmentación de lesiones Diagnóstico	En mercado o pronto en el mercado
Selección de tratamientos Abordaje de respuesta Predicción clínica (o respuesta al tratamiento, o futuro de la enfermedad)	En desarrollo

Fuente: Tomado de Rubin DL. *Artificial Intelligence in Imaging: The Radiologist's Role*, 2019 (35).

Figura 4: Implicaciones de la aplicación de la IA en radiología.



Fuente: Tomados para fines académicos basados en: Hardy M, Harvey H. (2020)(1), Mazurowski MA. (2019)(3), Kolanska K, et al. (2021) (7), Brady AP, Neri E. (2020)(8), Strohm L, et al. (2020)(9), Griffith B, et al. (2019)(11), Gurgitano M, et al. (2021)(12), Jalal S, et al. (2019) (16), Kapoor N, et al. (2020)(24), Topol EJ. (2019)(30), Bizzo BC, et al. (2019)(32), Rubin DL. (2019)(35), Geis JR, et al. (2019)(44), Safdar NM, et al. (2020)(45), Golding LP, Nicola GN. (2020)(46), Thrall JH, et al. (2021)(47), Simpson SA, Cook TS. (2020)(48), Wiggins WF, et al. (2020)(49).

Tabla 4: Problemas éticos posibles de la implementación de la Inteligencia Artificial.

INCONVENIENTES TECNOLÓGICOS DE LA IA	IMPLICACIONES ÉTICAS	SOLUCIONES POTENCIALES
Elementos de "caja negra"	Riesgo de validación de lo desconocido	La IA debe ser accesible a cuestionamientos (Transparencia) Solo uso de abordajes algorítmicos
Complejidad de los modelos de IA	Modelos de IA no accesibles ni entendibles para el radiólogo	Explicabilidad e interpretabilidad de la IA Los radiólogos deben entrenarse para entender los principios básicos de la IA y modelos de IA
Errores de IA: "riesgo de sobreajuste"	Impacto en el diagnóstico radiológico	Entrenamiento apropiado de la IA: Grandes estudios multicéntricos con validación de los datos de imagen

Tabla 5: Pasos para que el radiólogo evalúe un algoritmo de IA en la práctica.

1. Entender los resultados clave del algoritmo de IA y decidir cuales son clínicamente relevantes para las necesidades clínicas
2. Recolectar muestras representativas de pacientes
3. Establecer la "verda absoluta" para cada muestra
4. Escoger apropiadamente la medida de evaluación
5. Definir el límite de desempeño para dicha medida
6. Evaluar los casos en cuanto a la medida seleccionada
7. Implementar estrategias de monitoreo

Fuente: Tomado de Rubin DL. *Artificial Intelligence in Imaging: The Radiologist's Role*, 2019 (35).

Usualmente, los datos de imágenes en general son más reproducibles que los de las imágenes diagnósticas. La heterogeneidad de estas imágenes se relaciona con características como cambios en el *hardware*, o parámetros de escaneo no estandarizados entre un departamento de radiología y otro. Los artefactos en las imágenes reducen la reproducibilidad de los datos. Además, está la variabilidad interobservador, que, en varios casos hace imposible que se dé un diagnóstico definitivo.

Hay que tener en cuenta, también, que hay diferencias relacionadas con la incidencia de patologías que se traducen en resultados diferentes en cada región (13), y esto no permite que un mismo algoritmo sirva para clasificar los datos de otra región distinta a la de los datos con los que fue entrenada (13). Adicionalmente, los algoritmos, aunque hayan sido entrenados con una cantidad adecuada de datos, podrían no funcionar al aplicarse a situaciones más raras (7).

Por las anteriores razones, hallar una "verdad absoluta" de alta calidad en imagenología médica se convierte en una tarea muy difícil y extenuante por la enorme cantidad de tiempo que se requiere para detectar y etiquetar cada hallazgo (13, 29). Como resultado de estas circunstancias, los grupos de datos en radiología son pequeños en cantidad en comparación con los de otros proyectos de IA no médicos, lo que plantea varias soluciones como aumento de los datos, que es una práctica común en este tipo de proyectos en radiología (13, 47) e incluye conversiones aleatorias, rotaciones, giros, recortes y ajustes de brillo y contraste. También han suscitado interés las redes generativas adversariales (GAN por sus siglas en inglés) que producen imágenes falsas que semejan a las reales (29). En la figura 5 se aprecian ejemplos de cómo funcionan estas técnicas de aumento de datos.

La idea errónea de que, para que un algoritmo funcione adecuadamente y sea clínicamente útil, se requieren más datos, deja de lado la importancia de un etiquetado de calidad (21), la confiabilidad de las etiquetas y anotaciones, un nivel decente de

interpretabilidad, lo que hace que los desarrolladores puedan seguir más de un camino para lograr este resultado (28).

Papel del profesional en radiología en la era de la inteligencia artificial

A pesar de que el desarrollo de la IA es una fuente de incertidumbre entre los profesionales en radiología (7, 42) desencadenados por un posible desempeño superhumano de la IA (42), en general hay una tendencia a favor de que la IA será un apoyo en las tareas del radiólogo, sin llegar a reemplazarlo, dándole un nuevo enfoque a la medicina (35, 7).

La historia de la automatización ha demostrado que no se pierden vacantes de trabajo con el desarrollo tecnológico, si no que se reforman (2). En el mejor de los casos, los algoritmos de IA serían un recurso suplementario para la práctica radiológica, mejorando la automatización, eficiencia, precisión diagnóstica (35, 1, 9, 22). Esto abre múltiples retos para los radiólogos, quienes deben aprender habilidades para interactuar con la IA, y vigilar sus procesos semiautomatizados (1).

En una entrevista, se reportó una opinión positiva acerca del futuro de la IA en radiología, acentuada en el subgrupo de profesionales que ya tenían conocimientos previos de esta (20). Es así como es menester de los mismos radiólogos encontrar la manera de tener tiempo disponible para enseñar de forma más eficiente, promoviendo un ambiente que minimice situaciones como el "Burn Out" en los especialistas y residentes (11). Esta educación puede enfocarse en el reconocimiento de errores en la IA, los cuales pueden ser por inadecuada revisión de medidas, que se corregiría con entrenamiento, o más sutiles, menos predecibles y repetibles, propios de la naturaleza de esta tecnología (48), o en prepararlos para liderar el desarrollo y aplicación de modelos de ML en el área clínica (49).

Los radiólogos deben ser considerados como los principales consumidores educados en algoritmos de IA (35), ya que es quien considerará la necesidad

- artificial intelligence in imaging: a look at the quantitative survey literature. *Clin Imaging* [Internet]. Diciembre de 2021 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 80:413-419. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34537484/>
5. Scheek D, Rezazade Mehrizi MH, Ranschaert E. Radiologists in the loop: the roles of radiologists in the development of AI applications. *Eur Radiol* [Internet]. Octubre de 2021 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 31(10):7960-7968. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33860828/>
 6. Alsuliman T, Humaidan D, Sliman L. Machine learning and artificial intelligence in the service of medicine: Necessity or potentiality? *Current Research in Translational Medicine* [Internet]. Febrero de 2020 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 68. 10.1016/j.retram.2020.01.002. Disponible en : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32029403/>
 7. Kolanska K, Chabbert-Buffet N, Daraï E, Antoine JM. Artificial intelligence in medicine: A matter of joy or concern? *J Gynecol Obstet Hum Reprod* [Internet]. Enero de 2021 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 50(1):101962. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33148398/>
 8. Brady AP, Neri E. Artificial Intelligence in Radiology—Ethical Considerations. *Diagnostics* [Internet]. Abril de 2020 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 10(4):231. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32316503/>
 9. Strohm L, et al. Implementation of artificial intelligence (AI) applications in radiology: hindering and facilitating factors. *European Radiology* [Internet]. Mayo de 2020 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 30. 10.1007/s00330-020-06946-y. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32458173/>
 10. Haan M, Ongena YP, Hommes S, Kwee TC, Yakar D. A Qualitative Study to Understand Patient Perspective on the Use of Artificial Intelligence in Radiology. *J Am Coll Radiol* [Internet]. Octubre de 2019 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 16(10):1416-1419. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30878311/>
 11. Griffith B, Kadom N, Straus CM. Radiology Education in the 21st Century: Threats and Opportunities. *J Am Coll Radiol* [Internet]. Octubre de 2019 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 16(10):1482-1487. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1546144019304223>
 12. Gurgitano M, et al. Interventional Radiology ex-machina: impact of Artificial Intelligence on practice. *Radiol Med* [Internet]. Julio de 2021 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 126(7):998-1006. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33861421/>
 13. Weikert T, et al. A Practical Guide to Artificial Intelligence-Based Image Analysis in Radiology. *Invest Radiol* [Internet]. Enero de 2020 [citado el 15 de diciembre de 2021]; Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31503083/>
 14. Moores BM. Artificial intelligence and deep learning in diagnostic radiology—is this the next phase of scientific and technological development? *Radiat Prot Dosimetry* [Internet]. Octubre de 2021 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 195(3-4):145-151. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33604607/>
 15. Soffer S, et al. Convolutional Neural Networks for Radiologic Images: A Radiologist's Guide. *Radiology* [Internet]. Enero de 2019 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 290(3):590-606. Disponible en: <https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2018180547>
 16. Jalal S, Nicolaou S, Parker W. Artificial Intelligence, Radiology, and the Way Forward. *Can Assoc Radiol J* [Internet]. Febrero de 2019 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 70(1):10-12. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30691556/>
 17. Borstelmann SM. Machine Learning Principles for Radiology Investigators. *Acad Radiol* [internet]. Enero de 2020 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 27(1):13-25. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31818379/>
 18. Reyes M, et al. On the Interpretability of Artificial Intelligence in Radiology: Challenges and Opportunities. *Radiol Artif Intell* [internet]. Mayo de 2020 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 2(3): e190043. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32510054/>
 19. Wu JT, et al. Comparison of Chest Radiograph Interpretations by Artificial Intelligence Algorithm vs Radiology Residents. *JAMA Netw Open* [internet]. Octubre de 2020 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 3(10): e2022779. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33034642/>
 20. Waymel Q, et al. Impact of the rise of artificial intelligence in radiology: What do radiologists think? *Diagn Interv Imaging* [Internet]. Junio de 2019 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 100(6):327-336. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31072803/>
 21. Macruz, F. Misconceptions in the health technology industry that are delaying the translation of artificial intelligence technology into relevant clinical applications. *Radiologia Brasileira* [internet]. Agosto de 2021 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 54. 243-245. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rb/a/xgVZcPRNsvWvBhKYTTxwRS/?lang=en>
 22. Makeeva V, et al. The Application of Machine Learning to Quality Improvement Through the Lens of the Radiology Value Network. *J Am Coll Radiol* [internet]. Septiembre de 2019 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 16(9 Pt B):1254-1258. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1546144019306398>
 23. Holzinger A, et al. Causability and explainability of artificial intelligence in medicine. *Wiley Interdiscip Rev Data Min Knowl Discov* [internet]. Julio de 2019 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 9(4): e1 312. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32089788/>
 24. Kapoor N, Lacson R, Khorasani R. Workflow Applications of Artificial Intelligence in Radiology, and an Overview of Available Tools. *J Am Coll Radiol* [internet]. Noviembre de 2020 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 17(11):1363-1370. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33153540/>
 25. Barragán-Montero A, et al. Artificial intelligence, and machine learning for medical imaging: A technology review. *Phys Med* [internet]. Marzo de 2021 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 83:242-256. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33979715/>
 26. Noguerol M, et al. Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats Analysis of Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Radiology. *J Am Coll Radiol* [Internet]. Septiembre de 2019 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 16(9 Pt B):1239-1247. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1546144019306994>
 27. Kocak B, Kus EA, Kilickesmez O. How to read and review papers on machine learning and artificial intelligence in radiology: a survival guide to key methodological concepts. *Eur Radiol* [internet]. Abril de 2021 [citado el 15 de diciembre de 2021]; 31(4):1819-1830. Disponible en:

