

Impacto de la Inteligencia Artificial en la Radiología Impact of Artificial Intelligence in Radiology

Dannier Iglesias López ^{1*}

0000-0002-9744-4884

¹ Facultad Tecnológica. Universidad de Ciencias Médicas Camagüey. Cuba

*Correspondencia: dannier.iglesias@gmail.com

RESUMEN

Introducción: El creciente desarrollo computacional ocurrido en los últimos años, así como el acceso a gran número de datos (Big Data) ha posibilitado la explotación de los recursos informáticos para el desarrollo de algoritmos que aumentan la calidad y alcance de la inteligencia artificial (IA), la cual está tomando un rol central en la radiología.

Objetivo: Analizar el impacto de la Inteligencia Artificial en la Radiología y la necesidad de implementación en los servicios de imagenología.

Método: Se emplearon 23 referencias bibliográficas en inglés y español, la mayoría extraídas de PubMed, SciELO y ScienceDirect usando los descriptores “Inteligencia Artificial”, “Radiología” y “Aprendizaje automático” en idioma español y “Artificial Intelligence”, “Radiology” y “Machine Learning” para el inglés.

Desarrollo: No existe área de la Radiología en la cual no se haya implementado la inteligencia artificial, con el fin de mejorar y desarrollar programas que le faciliten al radiólogo y al técnico, la obtención y diagnóstico de imágenes. Cuba también está inmersa en este proceso; se están dando los primeros pasos por el desarrollo de estas tecnologías.

Conclusiones: La investigación, optimización de flujo de trabajo, radiómica, predicción y clasificación de imágenes son beneficios que nos aporta la IA; lograr un aumento en la calidad de estos procesos solo es posible a través de la alianza entre las ciencias médicas e informáticas.

Palabras clave: inteligencia artificial; radiología; aprendizaje automático.



ABSTRACT

Introduction: The growing computational development that has occurred in recent years, as well as the access to a large number of data (Big Data), has made the exploitation of computing resources possible to develop algorithms that increase the quality and scope of artificial intelligence (AI), which is taking a central role in radiology.

Objective: To analyze the impact of artificial intelligence in radiology and the need for its implementation in imaging services.

Method: A total of 23 bibliographical references in English and Spanish, most of them obtained from PubMed, SciELO and ScienceDirect databases, were analyzed using descriptors such as “inteligencia artificial”, “radiología” and “aprendizaje automático” for the Spanish language and “artificial intelligence”, “radiology” and “machine learning” for the English language.

Results: There is no area of Radiology in which artificial intelligence has not been implemented in order to improve and develop programs that make it easier for the radiologist and the technician to obtain and diagnose images. Cuba is also immersed in this process; the first steps are being taken towards the development of these technologies.

Conclusions: Research, workflow optimization, radiomics, prediction and classification of images are benefits that AI brings us; achieving an increase in the quality of these processes is only possible through the alliance between medical and computer sciences.

Keywords: artificial intelligence; radiology; automatic learning.

Recibido: 10/04/2023

Aprobado: 20/04/2023

Introducción

El término “inteligencia artificial” (IA) fue acuñado por John McCarthy en 1956 haciendo alusión a “la ciencia e ingenio de hacer máquinas inteligentes”. Coloquialmente, el término inteligencia artificial se aplica cuando una máquina imita las funciones cognitivas que los humanos asocian con otras mentes humanas, como, por ejemplo: percibir, razonar, aprender y resolver problemas. ⁽¹⁾

La interpretación de la imagen médica es una de las principales tareas que realiza el radiólogo. “Conseguir que los ordenadores sean capaces de realizar este tipo de tareas ha sido, durante años, un reto a la vez que un objetivo en el campo de la visión artificial. Gracias a los avances tecnológicos se está más cerca que nunca de conseguirlo y los radiólogos deben involucrarse en ello para garantizar que el paciente siga siendo el centro de la práctica médica.” ⁽²⁾



La implementación del aprendizaje automático (Machine Learning) en los estudios por imágenes está avanzando a gran velocidad debido a que esta rama de la IA permite que las máquinas aprendan sin ser expresamente programadas para ello. ⁽³⁾

Una habilidad indispensable para hacer sistemas capaces de identificar patrones entre los datos, haciendo uso de Redes Neuronales Convolucionales que se le añaden datos de entrada (input) y datos de salida (output) y contienen un gran número de capas ocultas para el procesamiento de los datos, proceso al cual se le denomina pensamiento profundo (Deep Learning). ⁽⁴⁾

El autor durante su formación como futuro profesional en Imagenología y Radiofísica Médica, en su paso por los hospitales, observó que no estaba siendo aprovechado el potencial de los recursos informáticos existentes, lo que traía consigo demoras en los servicios, pobre aprovechamiento de la información obtenida en los exámenes y retraso en la entrega de informes radiológicos.

Esto llevó a plantearse la siguiente interrogante: ¿Cómo podría la Inteligencia artificial mejorar la calidad de los servicios de imagenología? La vigente importancia que tiene esta temática para ganar en optimización del flujo de trabajo y calidad diagnóstica, que deviene en una mejor atención al paciente, fue el motor impulsor para llevar a cabo esta revisión. Se propone como objetivo analizar el impacto de la Inteligencia Artificial en la Radiología y la necesidad de implementación en los centros hospitalarios.

Métodos

Se utilizaron los siguientes criterios de selección: revisiones sistémicas, ensayos clínicos, ensayos preclínicos y revisiones bibliográficas publicadas del 2017 al 2022. Además, se consultaron 2 libros de validez académica para la comprensión de los procesos y términos informáticos sobre la Inteligencia Artificial; extraídas de PubMed, SciELO, Elsevier y Radilogy: usando los descriptores “Inteligencia Artificial”, “Radiología” y “Aprendizaje automático” para el idioma en español y “Artificial Intelligence”, “Radiology” y “Machine Learning” para el inglés.

Se emplearon para la realización de la revisión un total de 23 referencias bibliográficas en inglés y español de las 84 seleccionadas para el estudio de la temática, descartando la obtención de artículos duplicados, de poca contribución al tema o escasez de datos.



Desarrollo

No existe área de la imagenología en la cual no se haya implementado la inteligencia artificial, con el fin de mejorar y desarrollar programas que le faciliten al radiólogo y al técnico, la obtención y el diagnóstico a través de los estudios por imágenes. Como una forma temprana de inteligencia artificial, los sistemas de diagnóstico asistidos por computadora se han utilizado ampliamente en radiología durante muchos años. Las aplicaciones más comunes son para la detección de cáncer de mama en mamografía y de nódulos pulmonares en TC de tórax. ⁽⁵⁾

Estos sistemas se basaban tradicionalmente en la ingeniería de características manual basada en el conocimiento del dominio, pero los enfoques más nuevos están empleando el aprendizaje automático para descubrir características latentes dentro de los datos de imágenes. ⁽⁶⁾

Aplicaciones recientes

En el año 2020 con motivo de la pandemia de COVID-19 la inteligencia artificial se ha desarrollado especialmente en este campo, permitiendo el aislamiento de las salas de adquisición respecto a las salas de control para la realización de tomografías computarizadas (TC) y radiografías en pacientes afectados por COVID-19. ⁽⁷⁾

Estas salas están equipadas con cámaras y escáneres que valoran la posición del paciente en todo momento mientras esté en su interior, y da instrucciones y consejos al operador de la sala para que este pueda indicar al paciente de una manera más óptima como debe colocarse para la realización de la prueba de imagen sin necesidad de encontrarse en la misma sala. ⁽⁷⁾

Por otra parte, como método alternativo para distinguir el COVID-19 de otras infecciones pulmonares a partir de imágenes tomadas en TC, Hong Yang y colaboradores, desarrollaron un modelo de IA basado en un algoritmo de aprendizaje profundo que permitió la detección de esta afección con elevados valores de sensibilidad y especificidad. ⁽⁸⁾

Como métodos de imagen no invasivos para evaluar la fibrosis hepática, surgen las técnicas de elastografía basadas en RM (Resonancia Magnética) y ecografía, las cuales han sido las más extensamente validadas por su eficacia clínica. Jin Choi K y colaboradores, presentaron un novedoso sistema de aprendizaje profundo desarrollado mediante el uso de un gran conjunto de datos, que permitió una evaluación precisa de la fibrosis hepática. ⁽⁹⁾

Se creó utilizando un conjunto de datos de desarrollo que incluía imágenes de TC en fase venosa portal en 7461 pacientes con fibrosis hepática confirmada patológicamente. En este estudio, la precisión general del estadio del sistema de aprendizaje profundo (DL por sus siglas en inglés) fue del 79,4 %. La precisión del DL para el diagnóstico de fibrosis significativa, fibrosis avanzada y cirrosis fue aún mayor, alcanzando valores AUC (área bajo la curva, cuanto



mayor es la puntuación, mejor es el rendimiento de un clasificador binario para una tarea) en el rango de 0,95 a 0,97.^{(9), (10)}

Posteriormente Elton D y colaboradores, publicaron un modelo basado en el aprendizaje profundo que mide el volumen de los segmentos de Couinaud del hígado y el bazo en la TC con contraste funcionó de manera similar a las mediciones manuales para predecir la cirrosis histopatológica y la fibrosis avanzada. Esta herramienta permite disminuir a gran escala el flujo de trabajo, realizando reconstrucciones de manera automática.⁽¹¹⁾

Cumpliendo con los objetivos que se propone la IA en la imagenología, se crea una herramienta de aprendizaje profundo que evaluó con éxito la densidad mineral ósea en datos de TC heterogéneos para la evaluación de la osteoporosis con alta especificidad. Es importante resaltar que los resultados solo eran posibles a través de los estudios de densitometría ósea.⁽¹²⁾

Se observaron compensaciones en la sensibilidad y la especificidad para la evaluación de la osteoporosis para el enfoque de un solo corte: sensibilidad, 39,4 %; especificidad, 98,3 %. Hasta el valor mínimo en el caso del enfoque de múltiples cortes: para siete cortes contiguos; sensibilidad, 71,3 % y especificidad, 94,6%.⁽¹²⁾

La predicción constituye uno de los avances en la aplicación de softwares que utilizan el aprendizaje automático (ML por sus siglas en inglés); ejemplo de esto, es la utilización de una calculadora multimodal para predecir la luxación de cadera mediante la combinación de características preoperatorias y características radiográficas de pacientes sometidos a artroplastia de cadera.⁽¹³⁾

Este estudio destaca la superioridad de las características de imagen en comparación con las variables clínicas y la sinergia entre estos modos de evaluación del paciente. La herramienta permite la predicción del riesgo de luxación específica del paciente con un índice aceptable y, lo que es más importante, muestra el grado en que este riesgo se modifica por decisiones dentro del control del cirujano.⁽¹³⁾

Disminuir el tiempo de los resultados es de vital importancia para la reducción de informes radiológicos, Khosravi B y colaboradores, desarrollaron un modelo para la identificación automática de Cardiomegalia a través de imágenes radiográficas, que obtuvo una exactitud para el primer modelo, tanto en el proceso de validación como en el proceso de prueba de un 100% al clasificar de manera exitosa las estructuras del mediastino utilizando sólo una GPU (unidad de procesamiento gráfico).⁽¹⁴⁾

La duración de procesamiento fue de 1.25 minutos, mientras que para el proceso de validación y prueba se obtuvo un tiempo de 3.7 segundos, considerando un volumen de 250 imágenes randomizadas, obteniendo una exactitud de 99,2% en la detección de Cardiomegalia.⁽¹⁴⁾



Uno de los requisitos de que debe cumplir cualquier herramienta que utilice aprendizaje automático, para su mejoramiento continuo, es el continuo intercambio de información, que permite una mayor precisión en el análisis de datos. El progreso significativo en las capacidades de procesamiento informático y la infraestructura de la nube ha respaldado el crecimiento de la inteligencia artificial en las imágenes de resonancia magnética cardiovascular. ^{(15), (16)}

Ya existe Arterys, una empresa que utiliza la computación en la nube y el aprendizaje profundo para leer las resonancias magnéticas del corazón y medir el flujo sanguíneo a través de los ventrículos. Un proceso que realiza en 15 segundos mientras un humano tardaría 45 minutos, además de que ofrece gran cantidad de información sobre la hemodinámica del organismo, útil para el diagnóstico de anomalías cardíacas. ⁽¹⁵⁾

Por otro lado, Seetharam K y colaboradores, demuestran las aplicaciones de un novedoso software denominado RAPID-AI para pacientes con sospecha de ataque cerebrovascular isquémico (ACVi). Esta herramienta es un sistema independiente del operador para el análisis de información proveniente de estudios de resonancia magnética (RM) automatizados, que proporciona una evaluación objetiva, generando mapas cuantitativos. ⁽¹⁷⁾

Posteriormente se incorporó el análisis de tomografía computarizada (TC) no contrastada, los mapas de perfusión por TC y angiotomografía de cerebro, convirtiéndola en una herramienta potencialmente útil para la selección de pacientes en ensayos clínicos de reperfusión cerebral en (ACVi). ⁽¹⁷⁾

Cada vez son más las herramientas de IA aplicadas a la resonancia magnética, estas han ganado en especificidad y sensibilidad con respecto a versiones anteriores. Con el fin de clasificar tumores intramedulares de la médula espinal y lesiones desmielinizantes inflamatorias de manera automática, se estableció un canal de aprendizaje profundo para la segmentación y clasificación de las lesiones de la médula espinal utilizando imágenes de RM (resonancia magnética) potenciadas en T2 para respaldar un diagnóstico radiológico preciso y, en ocasiones, superó a los neuroradiólogos experimentados. ⁽¹⁸⁾

Otro aporte a los estudios por resonancia magnética fue desarrollado por Zaharchuk G y colaboradores, que posee conclusiones positivas, respecto a un sistema creado para detección y cuantificación automática de microhemorragias que analiza los volúmenes de resonancia, mejorando por amplio margen la performance respecto a otros métodos asentados en análisis 2D. Se logró una alta sensibilidad de detección automática de microhemorragias, estipulada en 93.16%; con un promedio de apenas 2.74 falsos positivos por paciente. ⁽¹⁹⁾

Uno de los avances más recientes en el campo de la IA, es la radiómica, resultado de la integración entre las ciencias de la información y la medicina, se refiere a la extracción de datos cuantitativos extraíbles de imágenes médicas y se ha aplicado dentro de la oncología para mejorar el diagnóstico, el pronóstico y el apoyo a las decisiones clínicas, con el objetivo



de brindar medicina de precisión, estos transmiten información significativa sobre la biología, el comportamiento y la fisiopatología del tumor.⁽²⁰⁾ En la figura 1 se expone el flujo de trabajo para la clasificación de tumores.

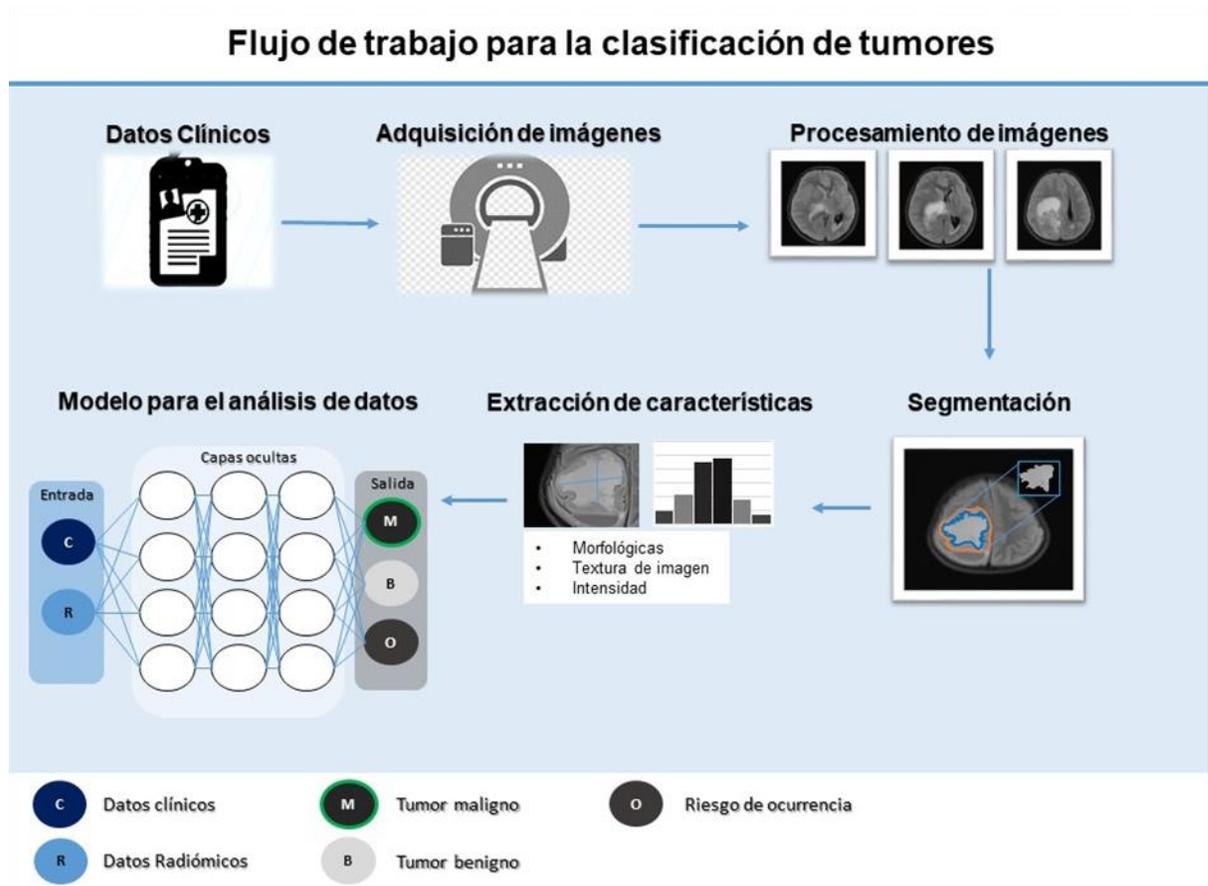


Fig.1- El diagrama muestra el flujo de trabajo radiómico, donde se integran los datos clínicos con los datos radiómicos extraídos del estudio por imágenes para la obtención de un modelo que clasifica de manera automática los tumores. Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, las características radiómicas pueden reflejar la heterogeneidad temporal y espacial, que se sabe que es un factor determinante clave del comportamiento del tumor y la resistencia a la terapia. Por lo tanto, la radiómica tiene el potencial de actuar como una "biopsia virtual". A diferencia de las biopsias estándar, utiliza imágenes no invasivas que permiten el análisis de todo el tumor (en lugar de una muestra focal) y se pueden aplicar más fácilmente en múltiples puntos de tiempo para monitorear la enfermedad ofreciendo información potencialmente importante relacionada con la evolución de la enfermedad.⁽²⁰⁾



Su aplicación en la oncología aún es objeto de estudio y se ha utilizado para diferenciar la región peritumoral del glioblastoma (GBM) del glioma infiltrante de bajo grado (LLG), que de otro modo es indistinguible en la estimación visual. Obtuvo resultados de sensibilidad, especificidad, precisión y (AUC) del 91 %, 86 %, 89 % y 0,96, respectivamente. ⁽²¹⁾

Ventajas de implementar la IA en los Servicios de Imagenología

- La IA (inteligencia artificial) posee dentro de sus beneficios la automatización de procesos, la cual posibilita la realización de tareas por máquinas de forma automática que para los humanos resultan repetitivas y tediosas.
- Potencia la creatividad al liberar a los trabajadores de tareas poco motivadora y dedicar la mente al proceso creativo.
- Agiliza la toma de decisiones al ser capaz de analizar miles de datos en apenas minutos y además de tener en cuenta posibles actualizaciones de los mismos.
- La información bien sintetizada y actualizada ayuda a los profesionales a tomar decisiones estratégicas.

Dificultades de implementación

Para que una inteligencia artificial funcione de forma adecuada debe tener datos actualizados y fiables, pero esto nos siempre es así. Por eso, uno de los principales retos a abordar es garantizar que estos sistemas puedan acceder a los datos que necesitan en cada momento.

Aunque las inteligencias artificiales aplicadas al ámbito de la medicina pueden ser muy útiles, el desarrollo de las mismas tiene todavía un coste muy elevado, lo que hace que no sean accesibles para todo el mundo, esto unido a la necesidad de personal cualificado para el desarrollo y uso de las mismas, son limitantes existentes para su desarrollo e implementación.

Contexto cubano

En Cuba se están dando los primeros pasos en el desarrollo de estas tecnologías, se creó una herramienta para la detección automática de nódulo pulmonar solitario a través de imágenes de TC, la cual mostró una buena exactitud de 96,4 %, un buen balance de sensibilidad 91,5 % para una tasa de 0,84 falsos positivos por imagen. El método de segmentación empleado para extracción de las regiones de interés (ROI) permitió generar la adecuada división de las imágenes originales en regiones significativas. ⁽²²⁾

El anterior estudio se obtuvo con propiedades mínimas de hardware, con las que se cuenta en casi todas las instituciones hospitalarias cabeceras de las provincias del país; no ha sido implementado debido a que pudo ser llevado a software libre, de ahí que ganar en soberanía informática es uno de los principales objetivos que tiene el país.



Cuba a pesar de ser un país tercermundista posee los requisitos mínimos para la implementación y desarrollo de estas herramientas, gracias a que cuenta con personal calificado en las ciencias biomédicas e informáticas, además de poseer sistemas de comunicaciones y archivos de imágenes (PACS, picture archiving and communications systems) en casi todos sus servicios de imagenología.

Sin embargo, sería necesaria la integración de estos recursos en una red nacional médica, la creación de softwares cubanos que estén involucrados en el proceso de desarrollo de estas herramientas y la instrucción del personal de imagenología en términos de IA.

Actualmente se trabaja en softwares totalmente cubanos, tal es el caso de Imagis 3.0 una herramienta interesante para el manejo y visualización de archivos de imágenes médicas en formato DICOM (Digital Imaging and Communication In Medicine), que si bien no utiliza machine learning permitirá el procesamiento de imágenes, uno de los pasos principales en el desarrollo de estas aplicaciones.^{(10), (23)}

Conclusiones

La IA ha llegado para quedarse, el continuo desarrollo de estas tecnologías es inevitable, de ahí la importancia en la continua investigación y auto preparación sobre este campo. La IA no va a sustituir al personal de imagenología, pero el profesional capacitado para su uso sí remplazará al que no la utilice. La investigación, optimización de flujo de trabajo, radiómica, predicción y clasificación de imágenes son beneficios que nos aporta la IA; lograr un aumento en la calidad de estos procesos solo es posible a través de la alianza entre las ciencias médicas e informáticas.

Cuba está inmersa en este proceso, sin embargo, es necesario la implementación de estas herramientas en los servicios de imagenología, que permitirán un aprovechamiento óptimo de los recursos informáticos y una disminución de la estadía hospitalaria.

Referencias

1. IBM Cloud Education. What is artificial intelligence (AI)? [Internet]. New York: IBM, c2022 [citado 10 Jul 2022]; [aprox. 14 p.]. Disponible en: <https://www.ibm.com/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence>
2. Pérez del Barrio A, Menéndez Fernández-Miranda P, Sanz Bellón P, Lloret Iglesias L, Rodríguez González D. Inteligencia artificial en Radiología: introducción a los conceptos más importantes. Radiol [Internet]. 2022 [citado 2 Sep 2022]; 64(3):228-236. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rx.2022.03.003>



- 3.SAS. Machine Learning: Qué es y por qué es importante [Internet]. North Carolina: SAS Institute Inc; c2022 [citado 4 Ago 2022]; [aprox. 7 p.]. Disponible en: https://www.sas.com/es_co/insights/analytics/machine-learning.html
- 4.Kelleher J. Deep learning. Massachusetts: The MIT Press; 2019.
- 5.Hardy M, Harvey H. Artificial intelligence in diagnostic imaging: impact on the radiography profession. Br J Radiol [Internet]. Mar 2020 [citado 15 Ago 2022];93(1108). Disponible en : <https://doi.org/10.1259/bjr.20190840>
- 6.Takahashi R, Kajikawa Y. Computer-aided diagnosis: A survey with bibliometric analysis. Int J Med Inf [Internet]. May 2017 [citado 23 Jun 2022]; 101:58-67. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2017.02.004>
- 7.Shi F, Wang F, Shi J, Wu Z, Wang Q, Tang Z, et al. Review of Artificial Intelligence Techniques in Imaging Data Acquisition, Segmentation, and Diagnosis for COVID-19. IEEE Rev Biomed Eng [Internet]. Abr 2021 [citado 24 Ago 2022]; 14:4–15. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/RBME.2020.2987975>
- 8.Hong Y, Fleming L, Hengyuan M, Ziqi Z, Stefan J, Jinxin L, et al. Using artificial intelligence to assist radiologists in distinguishing COVID-19 from other pulmonary infections. J X-Ray Sci Technol [Internet]. Feb 2021 [citado 7 Sep 2022]; 29(1):1-17. Disponible en: <https://doi.org/10.3233/xst-200735>
- 9.Jin Choi K, Keon Jang J, Soo Lee S, Sub Sung Y, Hyun Shim W, Sung Kim H, et al. Development and Validation of a Deep Learning System for Staging Liver Fibrosis by Using Contrast Agent–enhanced CT Images in the Liver. Radiol [Internet]. Sep 2018 [citado 12 Sep 2022]; 289(3). Disponible en: <https://doi.org/10.1148/radiol.2018180763>
- 10.Beunza Nuin J, Puertas Sanz E, Condés Moreno E. Manual práctico de inteligencia artificial en entornos sanitarios. Barcelona: Elsevier; 2020.
- 11.Elton D, Yang A, Kleiner D, Lubner M, Pickhardt P, Veranos R, et al. Fully Automated and Explainable Liver Segmental Volume Ratio and Spleen Segmentation at CT for Diagnosing Cirrhosis. Radiol Artif Intell [Internet]. Ago 2022 [citado 22 Sep 2022]; 4(5). Disponible en: <https://doi.org/10.1148/ryai.210268>
- 12.Nguyen T, Pérez A, Graffy P, Jang S, Veranos R, Garrett J, et al. Improved CT-based Osteoporosis Assessment with a Fully Automated Deep Learning Tool. Radiol Artif Intell [Internet]. Ago 2022 [citado 3 Sep 2022]; 4(5). Disponible en: <https://doi.org/10.1148/ryai.220042>
- 13.Khosravi B, Rouzrokh P, Maradit Kremers H, Larson D, Johnson Q, Faghani S, et al. Patient-specific Hip Arthroplasty Dislocation Risk Calculator: An Explainable Multimodal Machine Learning–based Approach. Radiol Artif Intell [Internet]. Oct 2022 [citado 10 Oct 2022]; 4(6). Disponible en: <https://doi.org/10.1148/ryai.220067>



14. Raschio E, Contreras C, Allende F, Maturana P. Inteligencia artificial: Desarrollo de algoritmos de clasificación y segmentación en radiografía de tórax. Rev Chil Radiol [Internet]. Abr 2021 [citado 20 Jul 2022]; 27(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-93082021000100008>
15. Francois Paul J, Rohnean A. Eight clinical cases demonstrating the diagnostic value of ViosWorks 4D powered by Arterys [Internet]. Paris: General Electric Company; 2018 [citado 6 Sep 2022]. Disponible en: https://www.gehealthcare.com/products/magnetic-resonance-imaging/signa-works/-/media/Files/M/MR_GBL_SW_ViosWorks_Clinical_Cases_Brochure_1218_lores.pdf
16. Seetharam K, Lerakis S. Cardiac magnetic resonance imaging: the future is bright [version 1; peer review: 2 approved]. F1000Res [Internet]. Sep 2019 [citado 15 Sep 2022]; 8:1636. Disponible en: <https://doi.org/10.12688/f1000research.19721.1>
17. Cirio J, Ciardi C, Buezasa M, Dilucab P, Caballeroa M, Lopeza M, et al. Implementación de la inteligencia artificial en el tratamiento hiperagudo de reperfusión arterial en un centro integral de ataque cerebrovascular. Neurol Arg [Internet]. 2021 [citado 3 Nov 2022]; 13(4):212–220. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.neuarg.2021.07.003>
18. Zhuo Z, Zhang J, Duan Y, Qu L, Ye C, Liu Y, et al. Automated Classification of Intramedullary Spinal Cord Tumors and Inflammatory Demyelinating Lesions Using Deep Learning. Radiol Artif Intell [Internet]. Sep 2022 [citado 12 Oct 2022]; 4(6). Disponible en: <https://doi.org/10.1148/ryai.210292>
19. Zaharchuk G, Gong E, Wintermark M, Rubin D, Langlotz C. Deep Learning in Neuroradiology. Am J Neuroradiol [Internet]. 2018 [citado 17 Jul 2022]; 39(10):1776-1784. Disponible en: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5543>
20. Shur J, Doran S, Kumar S, Downey K, O'Connor J, Papanikolaou N, et al. Radiomics in Oncology: A Practical Guide. Radiophys [Internet]. Oct 2021 [citado 18 Oct 2022]; 41(6). Disponible en: <https://doi.org/10.1148/rg.2021210037>
21. Malik N, Geraghty B, Dasgupta A, Jabehdar Maralani P, Sandhu M, Lin Tseng C, et al. MRI radiomics to differentiate between low grade glioma and glioblastoma peritumoral region. J Neuro Oncol [Internet]. Oct 2021 [citado 13 Sep 2022]; 155:181-191. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11060-021-03866-9>
22. Mulet De los Reyes A, C Suárez, Noriega Alemán M. Herramienta para la detección automática de nódulos pulmonares solitarios en series de imágenes de tomografía computarizada multicorte. Rev Cub Invest Biomed [Internet]. Jun 2020 [citado 15 Jun 2022]; 39(2). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002020000200019



23.Larrondo Pons E. Imagis 2.0, un sistema de información PACS basado en DICOM[Internet]. Santiago de Cuba: Centro de Biofísica Médica; c2021 [citado 20 Dic 2022]; [aprox. 4 p.]. Disponible en:: <https://www.cent.uo.edu.cu/cbm/productos/>

Conflictos de interés

El autor no declara ningún conflicto de interés.

