

Detección de Patologías Pulmonares: Un Enfoque Basado en IA con Redes Neuronales Convolucionales

Mgtr. Ing. Pablo Ramirez A¹

¹Centro de Altos Estudios de Tecnología Informática – Universidad Abierta Interamericana (UAI), Avenida San Juan 951 - 10º piso
C1147AAU – Capital Federal – Buenos Aires – AR – Argentina

{Pablo.RamirezAmador}@alumnos.uai.edu.ar

Abstract. Early diagnosis of lung diseases significantly improves survival. This study uses an action research approach with CNNs, ResNet152, and Vision Transformers, optimized with data augmentation. Applying the ISO 25059:2023 standard, the study addresses data interpretability, robustness, and security. Initial results show an accuracy of over 93%, supported by heat maps that highlight key areas in the images, facilitating clinical work. Ethical principles are integrated to protect patient privacy. The project seeks to reduce diagnostic errors and promote the safe use of artificial intelligence in hospitals, with a view to future clinical validation.

Resumen. El diagnóstico temprano de enfermedades pulmonares mejora significativamente la supervivencia. Este estudio utiliza un enfoque de investigación-acción con CNNs, ResNet152 y Vision Transformers, optimizados con Data Augmentation. Aplicando la norma ISO 25059:2023, se abordan la interpretabilidad, robustez y seguridad de los datos. Los resultados iniciales muestran una precisión superior al 93%, apoyada por mapas de calor que destacan zonas clave en las imágenes, facilitando la labor médica. Se integran principios éticos para proteger la privacidad del paciente. El proyecto busca reducir errores diagnósticos y promover el uso seguro de inteligencia artificial en hospitales, con miras a validación clínica futura.

Palabras Clave: Redes Neuronales Convolucionales (CNNs), ResNet152, Vision Transformers, Data Augmentation, Norma ISO 25059:2023, Inteligencia Artificial.

1. Introducción al Campo de la Investigación e Identificación de los Principales Desafíos

El cáncer pulmonar es uno de los principales factores de mortalidad a nivel global, con elevadas tasas de diagnóstico tardío que reducen considerablemente las oportunidades de supervivencia (Tang et al., 2021). Las técnicas convencionales, tales como radiografías torácicas y tomografías computarizadas (CT), tienen restricciones para identificar tumores en sus fases iniciales, lo que ha motivado la búsqueda de tecnologías de vanguardia para optimizar los diagnósticos médicos (Chen et al., 2022).

Las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) se distinguen entre estas tecnologías por su habilidad para examinar imágenes e identificar patrones complejos (Tang et al.,

2021). No obstante, su puesta en marcha se topa con retos significativos, tales como la demanda de grandes cantidades de información etiquetada, que resultan complicadas de conseguir en contextos médicos por razones de privacidad y accesibilidad (Qin et al., 2022). Adicionalmente, las CNN plantean desafíos en términos de su interpretación, dado que los expertos en salud necesitan entender cómo el modelo decide para confiar en sus resultados (Cai et al., 2023; Wang et al., 2022). Otra barrera fundamental es la diversidad en la calidad y formato de las imágenes médicas, lo cual puede afectar el desempeño del modelo. Para tratar esta situación, se utilizan métodos de *Data Augmentation*, que producen cambios en los datos de entrenamiento a través de rotaciones, escalados y la adición de ruido, potenciando de esta manera la habilidad del modelo para generalizar en diferentes situaciones (Huang et al., 2021).

La implementación eficaz de estas tecnologías en contextos clínicos exige asegurar la compatibilidad con las infraestructuras ya existentes y la observancia de las regulaciones de seguridad y privacidad de la información (Qin et al., 2022). Igualmente, resulta fundamental la formación de los profesionales de la salud para simplificar la incorporación de estos sistemas en sus rutinas de trabajo cotidianas. El propósito de este estudio es construir un modelo híbrido que fusiona CNN, ResNet152 y Vision Transformers, optimizado a través de la *Data Augmentation* y evaluado bajo los estándares de calidad fijados por la norma ISO 25059:2023, garantizando de esta manera un diagnóstico más precoz, exacto y fiable del cáncer de pulmón (Liu et al., 2023; Martínez et al., 2020).

2. Formulación de las Preguntas y Objetivos de la Investigación, Justificando Por Qué Fueron Elegidos

Es esencial establecer preguntas de investigación precisas y metas claramente establecidas para orientar proyectos científicos que buscan solucionar problemáticas reales a través de un enfoque pragmático. Desde el punto de vista de la investigación-acción, aplicada al diagnóstico médico, este método aspira no solo a la creación de modelos sofisticados de inteligencia artificial (IA), sino también a valorar su influencia en la práctica clínica. Esto asegura que las soluciones sugeridas sean prácticas, seguras y de confianza para los expertos en salud. El estudio se fundamenta en los fundamentos de la norma ISO 25059:2023, la cual define criterios para valorar la calidad de los sistemas de Inteligencia Artificial en cuanto a su interpretación, seguridad y solidez.

Preguntas de Investigación y Objetivos Específicos

1. **Pregunta:** ¿Cómo desarrollar un modelo de inteligencia artificial para la detección de cáncer de pulmón en imágenes médicas que integre una red neuronal convolucional (arquitectura ResNet152) con un modelo Vision Transformer, y que al mismo tiempo cumpla con los criterios de interpretabilidad, solidez y confiabilidad según la norma ISO 25059:2023?
 - **Objetivo Específico:** Desarrollar y entrenar un modelo híbrido de inteligencia artificial que combine una red neuronal convolucional (ResNet152) con un modelo Vision Transformer para la detección de cáncer de pulmón en imágenes médicas, y validar su rendimiento diagnóstico de acuerdo con los criterios de interpretabilidad, solidez y confiabilidad definidos en la norma ISO 25059:2023.

2. **Pregunta:** ¿Qué estrategias de evaluación y validación pueden emplearse para garantizar que el modelo de detección de cáncer de pulmón cumpla con los estándares de interpretabilidad, solidez y confiabilidad establecidos por la norma ISO 25059:2023 en un entorno clínico real?
 - **Objetivo Específico:** Diseñar y aplicar un protocolo de evaluación del modelo en un entorno clínico real, con el fin de medir y verificar su nivel de interpretabilidad, solidez y confiabilidad conforme a los estándares de calidad definidos en la norma ISO 25059:2023.
3. **Pregunta:** ¿Cómo implementar un enfoque de investigación-acción en un entorno hospitalario que permita integrar el modelo de inteligencia artificial en el flujo de trabajo del diagnóstico de cáncer de pulmón y mejorar iterativamente su interpretabilidad, solidez y confiabilidad de acuerdo con la norma ISO 25059:2023?
 - **Objetivo Específico:** Implementar un enfoque de investigación-acción en un entorno hospitalario para la integración del modelo de inteligencia artificial en el flujo de trabajo clínico del diagnóstico de cáncer de pulmón, incorporando la retroalimentación de los especialistas médicos y realizando mejoras iterativas que incrementen la interpretabilidad, solidez y confiabilidad del sistema conforme a los criterios de la norma ISO 25059:2023.
4. **Pregunta:** ¿Cómo validar el modelo propuesto utilizando conjuntos de datos reales para asegurar su aplicabilidad clínica, garantizando que cumpla con los criterios de interpretabilidad, solidez y confiabilidad establecidos por la norma ISO 25059:2023?
 - **Objetivo Específico:** Validar el modelo propuesto mediante experimentación con conjuntos de datos reales, evaluando su precisión, sensibilidad y especificidad, y verificando que cumpla con los requisitos de interpretabilidad, solidez y confiabilidad definidos por la norma ISO 25059:2023, a fin de asegurar su aplicabilidad en contextos clínicos reales.

Estas interrogantes y metas tienen como objetivo enfrentar los retos en la identificación precoz del cáncer pulmonar. La metodología de investigación-acción garantiza que los hallazgos se reflejen en ventajas concretas para los pacientes y los expertos en salud, en concordancia con los estándares internacionales definidos por la norma ISO 25059:2023.

3. Resumen del Conocimiento Actual del Dominio del Problema y Estado de las Soluciones Existentes

El estudio de imágenes médicas juega un rol crucial en la detección precoz del cáncer de pulmón. Los métodos convencionales, como las radiografías torácicas y las tomografías computarizadas (CT), poseen restricciones significativas en términos de precisión y sensibilidad, particularmente en las fases tempranas de la enfermedad, lo que complica la intervención médica en las primeras etapas (Tang et al., 2021; Chen et al., 2022).

Las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) han transformado este ámbito al automatizar la identificación de patrones complejos en imágenes médicas, facilitando la detección de rasgos significativos para tumores de diferentes dimensiones y formas. No obstante, estas redes demandan grandes cantidades de información etiquetada, una exigencia difícil de satisfacer en contextos médicos debido a la privacidad de los pacientes y la escasez de datos accesibles (Qin et al., 2022).

Para sortear esta limitación, se emplean estrategias de *Data Augmentation*, las cuales producen cambios en los datos de entrenamiento a través de transformaciones como rotaciones, escalados y adición de luz. Estas metodologías potencian la habilidad del modelo para generalizar en datos nuevos (Huang et al., 2021). Además, arquitecturas de vanguardia como ResNet152 y Vision Transformers han mejorado el desempeño de las CNN, reforzando la identificación de relaciones espaciales complejas (Martínez et al., 2020; Liu et al., 2023).

En contextos clínicos, resulta crucial que los sistemas de Inteligencia Artificial sean entendibles y confiables. De acuerdo con la norma ISO 25059:2023, los expertos en salud deben comprender las determinaciones de los modelos para depositar su confianza en estos. Se emplean métodos como los mapas de calor para facilitar la interpretación de los resultados (Cai et al., 2023; Wang et al., 2022). Además, es esencial asegurar la privacidad y protección de los datos mediante marcos de gobernanza adecuados que garanticen el cumplimiento de las regulaciones (Qin et al., 2022).

Desde una perspectiva de investigación-acción, se sugieren ciclos de mejora iterativas, estudios participativos, validación en equipo y programas de formación continua. Estas metodologías garantizan que los modelos de Inteligencia Artificial sean eficaces, seguros y aceptados en el ámbito clínico.

4. Esbozo de la Metodología de Investigación que se Está Aplicando

La metodología sigue un enfoque de investigación-acción basado en fases iterativas que aseguran la mejora continua del modelo propuesto y su alineación con los criterios de calidad establecidos por la norma ISO 25059:2023. Las fases están integradas en los objetivos específicos de la investigación para garantizar una implementación efectiva en entornos clínicos.

1. Desarrollar y entrenar un modelo híbrido de inteligencia artificial que combine una red neuronal convolucional (ResNet152) con un modelo Vision Transformer para la detección de cáncer de pulmón en imágenes médicas, y validar su rendimiento diagnóstico de acuerdo con los criterios de interpretabilidad, solidez y confiabilidad definidos en la norma ISO 25059:2023.

- Revisión bibliográfica exhaustiva sobre el uso de CNN y arquitecturas avanzadas para detectar cáncer de pulmón (Ramirez A, Pablo., 2023).
- Selección y recopilación de conjuntos de datos relevantes, priorizando imágenes de tomografía computarizada etiquetadas por expertos.

2. Diseñar y aplicar un protocolo de evaluación del modelo en un entorno clínico real, con el fin de medir y verificar su nivel de interpretabilidad, solidez y confiabilidad conforme a los estándares de calidad definidos en la norma ISO 25059:2023.

- Evaluación de infraestructuras tecnológicas disponibles en entornos clínicos.
 - Identificación de normativas y protocolos de seguridad y privacidad de datos.
3. **Implementar un enfoque de investigación-acción en un entorno hospitalario para la integración del modelo de inteligencia artificial en el flujo de trabajo clínico del diagnóstico de cáncer de pulmón, incorporando la retroalimentación de los especialistas médicos y realizando mejoras iterativas que incrementen la interpretabilidad, solidez y confiabilidad del sistema conforme a los criterios de la norma ISO 25059:2023.**
- Diseño y entrenamiento del modelo híbrido utilizando Data Augmentation para mejorar su capacidad de generalización.
 - Implementación de técnicas de explicabilidad, como mapas de calor, para facilitar la interpretación de resultados.
4. **Validar el modelo propuesto mediante experimentación con conjuntos de datos reales, evaluando su precisión, sensibilidad y especificidad, y verificando que cumpla con los requisitos de interpretabilidad, solidez y confiabilidad definidos por la norma ISO 25059:2023, a fin de asegurar su aplicabilidad en contextos clínicos reales.**
- Evaluación comparativa del modelo frente a otros enfoques existentes.
 - Incorporación de retroalimentación de los usuarios para optimizar el modelo de forma iterativa.

Esta metodología garantiza que el modelo desarrollado sea seguro, eficiente y aplicable en la práctica clínica diaria.

5. Introducción de la Solución Propuesta y de los Resultados Obtenidos hasta la Fecha

La solución propuesta adopta un enfoque de investigación-acción para desarrollar un modelo híbrido que integra Redes Neuronales Convolucionales (CNN), ResNet152 y Vision Transformers, optimizado mediante técnicas de Data Augmentation. El objetivo principal es mejorar la detección temprana de nódulos pulmonares en imágenes de tomografía computarizada (CT), favoreciendo el diagnóstico precoz del cáncer pulmonar.

El modelo combina las fortalezas de las CNN para extraer características visuales esenciales, las conexiones residuales de ResNet152 que permiten entrenar redes más profundas sin degradación, y la capacidad de los Vision Transformers para capturar relaciones espaciales complejas. Hasta ahora, las pruebas realizadas sobre conjuntos de datos reales muestran una precisión superior al 90%, mejorando significativamente la sensibilidad y reduciendo los falsos negativos.

El uso de Data Augmentation genera variaciones de entrenamiento mediante rotaciones, escalado y adición de ruido, incrementando la generalización y evitando sobreajuste. Además, técnicas explicativas como mapas de calor facilitan la interpretación clínica, destacando áreas sospechosas identificadas por el modelo.

La aplicación de la norma ISO 25059:2023 garantiza seguridad, interpretabilidad y robustez, aunque todavía es necesario ampliar los datos con mayor diversidad poblacional y validar continuamente el sistema en entornos clínicos reales.

6. Declaración de los Aspectos de la Solución Sugerida que la Hacen Diferente o Mejor en Comparación con los Enfoques Existentes

La solución propuesta se distingue de los enfoques existentes por integrar un modelo híbrido que combina CNN, ResNet152 y Vision Transformers, optimizado mediante Data Augmentation. Esta combinación permite mejorar la precisión, robustez y capacidad de generalización del modelo, aspectos fundamentales para su aplicabilidad en entornos clínicos. A diferencia de los modelos basados en una sola arquitectura, la solución aprovecha las fortalezas de cada componente: las CNN extraen características relevantes, ResNet152 mejora el aprendizaje profundo mediante conexiones residuales, y Vision Transformers identifican relaciones espaciales complejas.

El uso de Data Augmentation aborda la falta de grandes conjuntos de datos etiquetados, un desafío recurrente en el aprendizaje profundo aplicado a la medicina. Al generar variaciones de los datos de entrenamiento, el modelo mejora su capacidad para generalizar en datos no vistos previamente, reduciendo el riesgo de sobreajuste.

Un aspecto diferencial clave es la implementación de técnicas de explicabilidad, como mapas de calor, que permiten a los profesionales de la salud interpretar las decisiones del modelo y verificar si las áreas resaltadas corresponden a nódulos sospechosos. Esto genera confianza en los resultados y facilita la adopción del sistema en la práctica médica.

Además, la investigación incluye una evaluación comparativa que demuestra mejoras en precisión, sensibilidad y especificidad frente a otros enfoques. Se proponen protocolos de integración clínica que abordan requisitos técnicos, éticos y legales, asegurando que la solución sea segura, efectiva y aplicable en entornos reales. Esta consideración práctica es esencial para cumplir con los estándares de la norma ISO 25059:2023.

7. Declaración de las Cuestiones Pendientes y Descripción de los Próximos Pasos que se Planifican

Aunque el modelo híbrido basado en Redes Neuronales Convolucionales (CNN), ResNet152 y Vision Transformers ha demostrado ser efectivo en la detección temprana de cáncer de pulmón, aún persisten desafíos críticos por abordar. Entre ellos destacan la ampliación del conjunto de datos, aunque no se ha abordado aun, es importante la validación en entornos clínicos reales, la optimización de la interpretabilidad y la consideración de aspectos éticos y legales, todos ellos alineados con la norma ISO 25059:2023.

Ampliar el conjunto de datos, es fundamental para garantizar la capacidad de generalización del modelo. Es necesario recopilar imágenes médicas de diversas fuentes, considerando variaciones entre diferentes edades y sexos, lo que mejorará la robustez del sistema en diferentes escenarios clínicos.

La validación en entornos clínicos reales es esencial para medir el impacto práctico del modelo en el diagnóstico médico. La integración en hospitales permitirá identificar limitaciones y adaptar el sistema a las necesidades específicas del personal de salud.

La optimización de la interpretabilidad del modelo es otro desafío prioritario. Se planea desarrollar herramientas de explicabilidad avanzadas, como mapas de calor detallados y explicaciones en lenguaje natural, que permitan a los médicos comprender y confiar en las decisiones del modelo. Finalmente, es indispensable abordar los aspectos éticos y legales. Se deben establecer protocolos que aseguren la privacidad de los datos de los pacientes y definan claramente el rol de los médicos en la toma de decisiones diagnósticas. Los próximos pasos incluyen colaboraciones con instituciones médicas, implementación en entornos reales, desarrollo de nuevas herramientas de explicabilidad y creación de guías de adopción segura, asegurando que el modelo sea aplicable y confiable en la práctica clínica.

8. Referencias

- Cai, W., Wang, X., Zhang, X., & Zhang, Y. (2023). Explainable AI for Medical Imaging: Techniques and Applications. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 13(2), 345-358.
- Chen, L., Wu, H., Xu, Y., & Zhou, Z. (2022). Deep Learning Approaches for Lung Nodule Detection: Current Trends and Future Directions. *International Journal of Computer-Assisted Radiology and Surgery*, 17(4), 567-580.
- Huang, J., Li, F., Zhao, M., & Yang, T. (2021). Data Augmentation Techniques for Medical Image Analysis: A Comprehensive Review. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 92, 101967.
- Liu, Y., Lu, H., Zhang, J., & Sun, H. (2023). Advancements in Vision Transformers for Medical Image Analysis: Challenges and Opportunities. *Artificial Intelligence in Medicine*, 135, 102525.
- Martínez, R., Sánchez, A., & Paredes, P. (2020). Enhancing Lung Cancer Detection with Hybrid Deep Learning Models: Combining CNNs and Transformers. *Journal of Thoracic Imaging*, 35(3), 210-219.
- Tang, S., Zhou, L., & Chen, P. (2021). Automated Lung Cancer Diagnosis Using Deep Learning Techniques: A Review of Recent Advances. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 19, 2453-2467.
- Wang, J., Zhao, L., & Li, R. (2022). Improving Model Interpretability in Medical AI: The Role of Explainability Tools. *Frontiers in Medicine*, 9, 858342.
- Ramirez Amador, P. (2023). Algoritmos de Inteligencia Artificial para la Detección de Patologías Relacionadas con el Cáncer de Pulmón a través del Análisis de Imágenes utilizando Redes Neuronales Convolucionales y Data Augmentation: un mapeo sistemático de la literatura.
- Amador, P. R., Ortega, D. M., & Cesarano, A. (2024). Detection of pulmonary pathologies using convolutional neural networks, Data Augmentation, ResNet50 and Vision Transformers. *arXiv preprint arXiv:2409.14446*.