

Factibilidad de la utilización de la inteligencia artificial para el cribado de pacientes con COVID-19 en Paraguay

Pedro Galván,¹ José Fusillo,² Felipe González,² Oraldo Vukujevic,² Luciano Recalde,¹ Ronald Rivas,¹ José Ortellado,² Juan Portillo,² Julio Borba² y Enrique Hilario³

Forma de citar

Galván P, Fusillo J, González F, Vukujevic O, Recalde L, Rivas R et al. Factibilidad de la utilización de la inteligencia artificial para el cribado de pacientes con COVID-19 en Paraguay. Rev Panam Salud Publica. 2022;46:e20. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.20>

RESUMEN

Objetivo. Estudiar la factibilidad de utilización de la inteligencia artificial como método sensible y específico para el cribado de COVID-19 en pacientes con afecciones respiratorias empleando imágenes de tórax obtenidas con tomógrafo y una plataforma de telemedicina.

Métodos. Entre marzo del 2020 y junio del 2021 se realizó un estudio observacional descriptivo multicéntrico de factibilidad basada en inteligencia artificial (IA) para el cribado de COVID-19 en imágenes de tórax de pacientes con afecciones respiratorias que acudieron a hospitales públicos. El diagnóstico de las imágenes tomográficas de tórax se realizó a través de la plataforma de IA; luego, se comparó con el diagnóstico molecular (RT-PCR) para determinar la concordancia entre ambos y analizar su factibilidad para el cribado de pacientes con sospecha de COVID-19. Las imágenes y los resultados diagnóstico se enviaron a través de una plataforma de telemedicina.

Resultados. Se realizó el cribado de 3 514 pacientes con sospecha diagnóstica de COVID-19, en 14 hospitales a nivel nacional. La mayoría de los pacientes tenían entre 27 y 59 años, seguidos por los mayores de 60 años. La edad promedio fue de 48,6 años; el 52,8% eran de sexo masculino. Los hallazgos más frecuentes fueron neumonía grave, neumonía bilateral con derrame pleural, enfisema pulmonar bilateral y opacidad difusa en vidrio esmerilado, entre otros. Se determinó un promedio de 93% de concordancia y 7% de discordancia entre las imágenes analizadas mediante IA y la RT-PCR. La sensibilidad y especificidad del sistema de IA, obtenidas comparando el resultado del cribado obtenido por IA con la RT-PCR, fueron de 93% y 80% respectivamente.

Conclusiones. Es viable la utilización de IA sensible y específica para la detección rápida estratificada de COVID-19 en pacientes con afecciones respiratorias utilizando imágenes obtenidas mediante tomografía de tórax y una plataforma de telemedicina en los hospitales públicos de Paraguay.

Palabras clave

Tamizaje; COVID-19; inteligencia artificial; telemedicina; telediagnóstico; tecnología digital; Paraguay.

La pandemia de la enfermedad por el coronavirus 2019 (COVID-19, por su sigla en inglés), identificada por primera vez en diciembre de 2019 en la ciudad china de Wuhan (1), fue reconocida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como una pandemia mundial el 11 de marzo de 2020 (2,3). El período de incubación por lo general es de cinco días y puede variar

entre 2 y 14 días (2-6). Los síntomas más comunes son fiebre, tos seca y dificultad respiratoria (6,7). Entre las complicaciones más frecuentes se encuentran la neumonía, el síndrome respiratorio agudo, la trombosis y la sepsis (6); en la actualidad no existe un fármaco antiviral específico para su tratamiento (6,7). Uno de los métodos diagnósticos más utilizados se realiza en

¹ Departamento de Ingeniería Biomédica e Imágenes, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. ✉ Pedro Galván, ibiomedica@iics.una.py

² Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, Asunción, Paraguay.
³ Facultad de Medicina, Universidad del País Vasco, Bilbao, España.

base al análisis molecular con reacción en cadena de la polimerasa con retrotranscripción previa (RT-PCR, por su sigla en inglés) en muestras de hisopado nasofaríngeo (3,5-9). Sin embargo, las cifras correspondientes a los casos diagnosticados no son representativas de la propagación real de la pandemia, porque la cantidad de análisis realizados varía mucho de un país a otro (3,8). En Paraguay, hasta el 9 de junio del 2021(10) se han confirmado 434 264 casos de la COVID-19 con 13 729 fallecidos, y una tasa de contagio promedio de 1,5 durante un período de 162 días de cuarentena.

Para fortalecer la capacidad diagnóstica y de tamizaje del coronavirus, en este trabajo se propone utilizar herramientas de la telemedicina asistidas por un sistema de inteligencia artificial (IA) a través de la tomografía axial computarizada (TAC) del tórax del paciente sospechoso de infección y, de esta manera, simplificar la derivación de los pacientes a los hospitales destinados a la atención de personas con COVID-19 (3-6,8) o a sus domicilios para guardar cuarentena, según el cuadro clínico.

La OMS define como tamizaje o cribado “la presunta identificación de una patología aún no reconocida mediante la aplicación de pruebas, exámenes u otros procedimientos que pueden realizarse en forma rápida” (9). El tamizaje no pretende sustituir al diagnóstico, sino priorizar aquellos casos con signos y síntomas de la patología de interés; de esta manera, se facilitan el diagnóstico temprano y el tratamiento adecuado, y se evitan traslados innecesarios de pacientes con sospecha diagnóstica de coronavirus. Esto permite reducir las aglomeraciones en los centros especializados y optimizar el uso de los limitados recursos disponibles. Las personas con un resultado positivo o sospechoso de infección por coronavirus deben ser remitidas a un médico para el diagnóstico por RT-PCR y su tratamiento oportuno (5-8). Una prueba de tamizaje debe tener alta sensibilidad y especificidad, además de ser segura y aceptable tanto para los pacientes como para los profesionales de la salud (2-8). En dicho sentido, el tamizaje con la TAC de tórax podría ser una opción, ya que es parte del protocolo para el diagnóstico de los cuadros de la COVID-19 y está disponibles en todos los hospitales regionales de referencia en Paraguay (11,12). Cabe destacar que, para llevar a cabo el tamizaje por telemedicina, se considera al técnico en radiología como profesional no médico responsable de captar las imágenes del tórax del paciente, que sigue un protocolo desarrollado por radiólogos (11,12).

En dicho contexto, el Departamento de Ingeniería Biomédica e Imágenes (IICS-UNA) en colaboración con la Dirección de Telemedicina y el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias y del Ambiente (INERAM) del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPBS) llevó a cabo este estudio para evaluar la factibilidad de utilización de un sistema de tamizaje basado en IA para la detección rápida de la COVID-19 a partir de imágenes tomográficas de tórax en pacientes con afecciones respiratorias en hospitales públicos de Paraguay.

MATERIALES Y MÉTODOS¹

El presente estudio observacional descriptivo multicéntrico de factibilidad e implementación de un sistema de inteligencia

artificial para el cribado de la COVID-19 mediante telemedicina se realizó entre marzo del 2020 y junio del 2021 en 14 hospitales de las 18 regiones sanitarias del MSPBS.

El tamizaje de los pacientes con sospecha de la COVID-19 se realizó utilizando los siguientes componentes tecnológicos:

- La tomografía axial computarizada (TAC) para captar las imágenes de tórax de los pacientes con afecciones respiratorias sospechosas según el protocolo recomendado por el INERAM. Los tomógrafos eran de diversos fabricantes y la gestión de imágenes se realizó con una computadora exclusiva donde se descargaron las imágenes digitales en formato DICOM para luego procesarlas y almacenarlas en la base de datos a través de una aplicación web.
- El sistema de IA (*software*) fue desarrollado por un equipo de informáticos biomédicos, neumólogos y radiólogos (imagenólogos). El *software* utilizado dispone de un método de aprendizaje profundo (DL, por su sigla en inglés) para realizar el diagnóstico rápido de la COVID-19; es decir, cuenta con un algoritmo para detectar patologías neumológicas y un algoritmo de diagnóstico de neumopatías compatibles con la COVID-19. El algoritmo de detección ubica la patología pulmonar, y el algoritmo de diagnóstico ayuda al diagnóstico de pacientes utilizando la TAC de tórax. Ambos algoritmos utilizan una metodología de aprendizaje profundo (*machine learning*) basada en datos para optimizar el diagnóstico, con lo cual se mejora la sensibilidad y la especificidad del sistema. La tecnología de aprendizaje utilizada en el *software* se denomina red neuronal convolucional profunda (DCNN, por su sigla en inglés) con agrupación estocástica (SP, por su sigla en inglés), similar a las neuronas en la corteza visual primaria de un cerebro biológico (13-15). El *software* fue sometido a una prueba, análisis, valoración, correlación y validación con diferentes imágenes de tórax con patologías respiratorias antes de su utilización en el estudio. En el proceso de validación y valoración de concordancia del *software* se utilizaron datos históricos (imágenes de diferentes estadios) como entrada (*input*) para predecir nuevos valores de salida o diagnóstico (*output*) para validar el algoritmo (DCNN). La efectividad del algoritmo DCNN utilizado se fortalece para detectar la COVID-19 a través de las imágenes históricas y las imágenes nuevas del tórax de pacientes infectados que se vayan ingresando a la plataforma de IA. Se destaca que el sistema de IA propuesto se utilizó solo como herramienta para mostrar sus potencialidades en comparación con el diagnóstico molecular por RT-PCR, y no se pretende detallar cómo está constituido cada algoritmo.
- El sistema de telemedicina, basado en herramientas de las tecnologías de información y comunicación (TIC), fue utilizado para enviar las imágenes de tórax obtenidas por TAC en los 14 hospitales de la red de teletomografía. A la imagen de tórax se le adjunta los datos clínicos del paciente a través de una ficha electrónica y luego el técnico radiólogo envía dicha información cifrada (tipo SSL) a la plataforma de telemedicina alojada en la nube. La tecnología digital utilizada para la transmisión de las imágenes se denomina *store & forward*, en la que una vez obtenidas las imágenes se ejecuta el módulo de ficha electrónica del paciente (aplicación web). La comunicación de los resultados del diagnóstico de los neumólogos a los médicos responsables del tratamiento

¹ Información adicional sobre los materiales y métodos utilizados en el estudio están disponibles previa solicitud a los autores.

del paciente se realizó mediante la misma plataforma de telemedicina.

La estrategia de sincronización y concatenado de los tres componentes para el tamizaje se realizó con la siguiente secuencia:

- A todos los pacientes que cumplían los criterios de inclusión se les realizó una TAC de tórax por los técnicos radiólogos (remotos) acorde al protocolo de cortes establecido por los médicos radiólogos en los 14 hospitales de la red de telemedicina (teletomografía), que también eran hospitales de referencia regionales para la COVID-19.
- Los médicos radiólogos del servicio de diagnóstico por telemedicina descargaron la imagen de tórax de la plataforma con los datos clínicos del paciente y realizaron el diagnóstico correspondiente en un formato predefinido y estandarizado. Luego, el radiólogo cargó la imagen de tórax en una plataforma de inteligencia artificial alojada en la nube y, 5 minutos después, recibió un diagnóstico en forma de unos valores porcentuales, que expresan el grado de compatibilidad con una imagen de tórax con COVID-19, donde el valor 0 expresaba una compatibilidad nula y el valor 100, plena compatibilidad con un cuadro de COVID-19. Los resultados de diagnóstico por IA fueron agrupados en cuatro rangos de probabilidades para estratificar la concordancia de la gravedad de las patologías compatibles con COVID-19.
- El informe de diagnóstico del radiólogo y el resultado del diagnóstico por IA fueron remitidos luego a un equipo de neumólogos para su valoración, análisis, correlación y validación. Los neumólogos correlacionaron los valores porcentuales del diagnóstico por IA con el resultado de los radiólogos, el resultado del análisis molecular (RT-PCR) y el cuadro clínico del paciente para determinar los grados de concordancia o discordancia entre los resultados y llegar a un diagnóstico definitivo que permita informar al médico del hospital donde se trataba al paciente en cuestión. Según la gravedad de la patología, el paciente era internado o recibía tratamiento ambulatorio. Con el grado de concordancia entre resultados de IA y RT-PCR se validaba el diagnóstico con IA y, en los casos de discordancia, el neumólogo proveía datos más detallados para retroalimentar el sistema de IA y, con ello mejorar la sensibilidad y especificidad del sistema (DCNN). Además, para los casos indefinidos o cuando el valor del resultado era cero por el sistema de IA, el equipo de neumólogos analizaba caso por caso dichas imágenes de tórax, correlacionándolas con los resultados de RT-PCR y los cuadros clínicos. Luego, emitían un diagnóstico que servía para informar al médico responsable de tratar al paciente y para retroalimentar al sistema de IA.

Criterios de inclusión

Pacientes con evidencias de trastorno respiratorio y que tuvieran como mínimo dos o más de los siguientes síntomas: taquicardia, frecuencia respiratoria mayor a 25, fiebre, mialgia, saturación de oxígeno en sangre menor a 93% y tos. Además, los hospitales donde se realizaron el reclutamiento de pacientes no debían contar con servicio de laboratorio homologado para estudios de RT-PCR, ni tampoco con médicos radiólogos o neumólogos para el diagnóstico adecuado de la COVID-19.

Criterios de exclusión

Pacientes con signos y síntomas que no fueran compatibles con COVID-19.

Pruebas moleculares de laboratorio del ácido nucleico del virus

El personal de salud capacitado realizaba hisopados nasofaríngeos y orofaríngeos en pacientes con síntomas respiratorios de interés. Las muestras se colocaban de inmediato en tubos de transporte estériles y se enviaban al laboratorio de referencia, según las directivas de los Centros de Control y Prevención de Enfermedades (8-10). El diagnóstico de la COVID-19 se realizó a través de la reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa (RT-PCR).

Población

Pacientes con afecciones respiratorias de variada gravedad con solicitud médica de diagnóstico mediante TAC de tórax. La captación de pacientes se realizó a través de la consulta externa (patologías moderadas) y urgencias (patologías graves) en los 14 hospitales de la red de telemedicina del MSPBS.

Análisis estadístico

De acuerdo con la población de estudio, diseño, factor de interés y resultados se utilizó la estadística descriptiva para exponer los datos de la población estudiada (distribución de frecuencias, tendencias, dispersión, promedio y comparación, entre otros). Las imágenes de tórax se analizaron, valoraron, correlacionaron y validaron con los resultados porcentuales producidos por el sistema de IA y la prueba de RT-PCR. Se calcularon la sensibilidad y especificidad del sistema de tamizaje con IA como medida de concordancia entre ambos métodos diagnósticos.

Sensibilidad y especificidad del sistema de IA

Los valores de la sensibilidad y especificidad del sistema de IA se obtuvieron comparando el resultado del tamizaje obtenido por IA versus la prueba de RT-PCR (*gold standard*). Para definir la tasa de los verdaderos positivos y negativos del sistema de IA, los neumólogos correlacionaron los valores porcentuales del diagnóstico por IA con el resultado de los radiólogos, el resultado de RT-PCR y el cuadro clínico del paciente para luego determinar la sensibilidad y especificidad del sistema acorde a las fórmulas para cada caso. Con esto se determinaron la tasa (%) de pacientes con diagnóstico positivo (con la enfermedad) o positivo verdadero (PV) ($\text{sensibilidad} = (a)/(a) + (c)$; (a) era resultado PV positivo y (c) era falso negativo), y la tasa (%) de pacientes con diagnóstico negativo verdadero (NV) ($\text{especificidad} = (d)/(b) + (d)$; (d) era NV y (b) era falso positivo).

Aspectos éticos y de confidencialidad

Antes del estudio, se informó a todos los pacientes sobre su finalidad y se obtuvieron los consentimientos informados. Para asegurar la confidencialidad de la información, así como su integridad y consistencia, en la plataforma de telemedicina se han utilizado mecanismos de seguridad, como el acceso controlado

al sistema (usuario y contraseña), consultas priorizadas por tipo de usuario, bases de datos codificadas, comunicación cifrada tipo *secure sockets layer* (SSL), llaves de codificación y protocolo de encriptación que provee comunicación segura. El protocolo de investigación fue aprobado por los comités científico y ético del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Asunción (IICS-UNA) (Nº de aprobación: P38/2020).

RESULTADOS

Durante el estudio se realizó el cribado de 3 514 pacientes, de los cuales 52,8% eran de sexo masculino. La edad promedio de los pacientes fue de 48,6 años (figura 1), la mayoría en el grupo etario de 27-59 años ($n = 2\ 193$), seguido por el grupo de mayores de 60 años.

Los resultados del sistema de IA se agruparon en cuatro rangos de probabilidades según su grado de compatibilidad (0% a 100%) con un cuadro de COVID-19. La agrupación de los resultados de los 3 514 pacientes en cuatro rangos de probabilidades se realizó para estratificar la gravedad de los pacientes con COVID-19 (figura 2). En el rango de 0-25 % se tamizaron 2 081 pacientes mediante el sistema de IA. Los hallazgos más frecuentes fueron neumonía grave, neumonía bilateral con derrame pleural, enfisema pulmonar bilateral, opacidad difusa en vidrio esmerilado, parestia del hemidiafragma, granuloma calcificado en el lóbulo inferior izquierdo, derrame pleural bilateral, secuelas de tuberculosis (TB) y cambios enfisematosos y fibróticos bilaterales, entre otros. En este rango se identificaron 394 resultados con valor “cero” o “indefinido” en la escala de compatibilidad con un cuadro de COVID-19. Para definir el diagnóstico de los resultados “cero” o “indefinido”, los neumólogos de investigación evaluaron las imágenes de tórax y

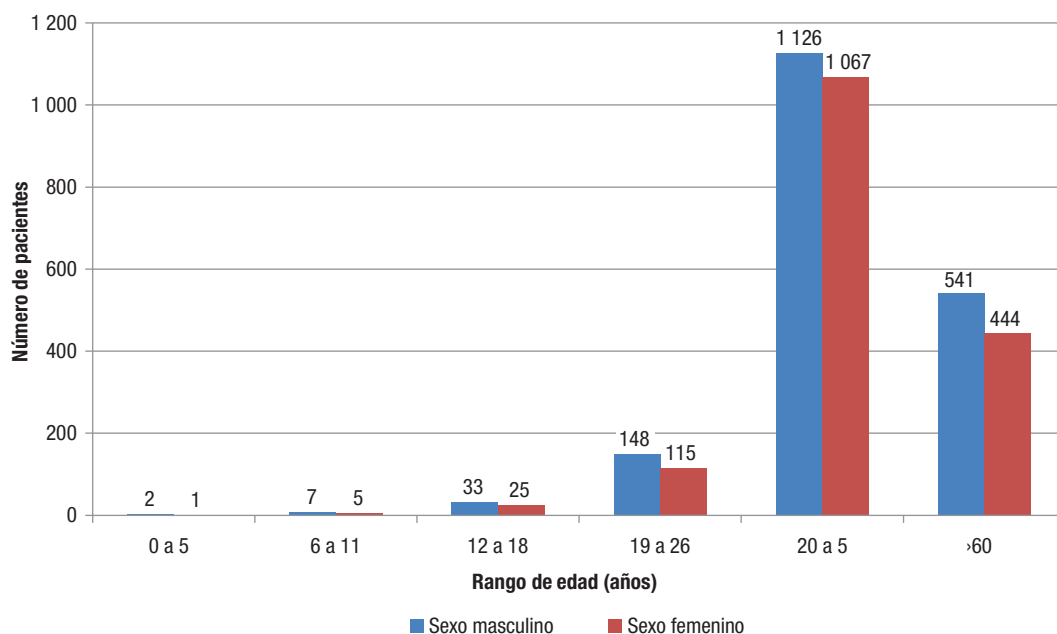
detectaron diferentes patologías neumológicas, cuyos hallazgos más frecuentes se visualizan en la figura 3. En el rango de 25-50% se tamizaron 768 pacientes con el sistema de IA. Los hallazgos más frecuentes fueron enfisema pulmonar, características inespecíficas en el parénquima pulmonar y nódulos de granuloma calcificado en el lóbulo inferior derecho. En el rango de 50-75% se tamizaron 472 pacientes. Los hallazgos más frecuentes fueron imágenes de neumonías compatibles con la etiología viral de la COVID-19 y proceso inflamatorio pulmonar bilateral. Por último, en el rango de 75-100% se tamizaron 193 pacientes. Los hallazgos más frecuentes fueron neumopatía viral, neumonía bilateral con derrame pleural, lóbulo superior izquierdo con patrón en vidrio esmerilado y proceso infeccioso. (Para los autores: dado que se trata de imágenes diagnósticas, se sugiere reemplazar el diagnóstico de neumonía viral [realizado solo por pruebas serológicas] por el hallazgo imagenológico compatible con la etiología viral, subsanado).

La sensibilidad fue de 93% y la especificidad fue de 80% en los cuatro rangos de probabilidades de valoración de las TAC de tórax durante el estudio. Además, es importante destacar que en todos los casos COVID-19 positivos confirmados por RT-PCR, se pudieron diferenciar, en las imágenes, la gravedad (por presencia de derrame pleural y bronquiectasias, entre otros) y la extensión de la neumonía causada por el SARS-CoV-2, según la carga viral y la virulencia.

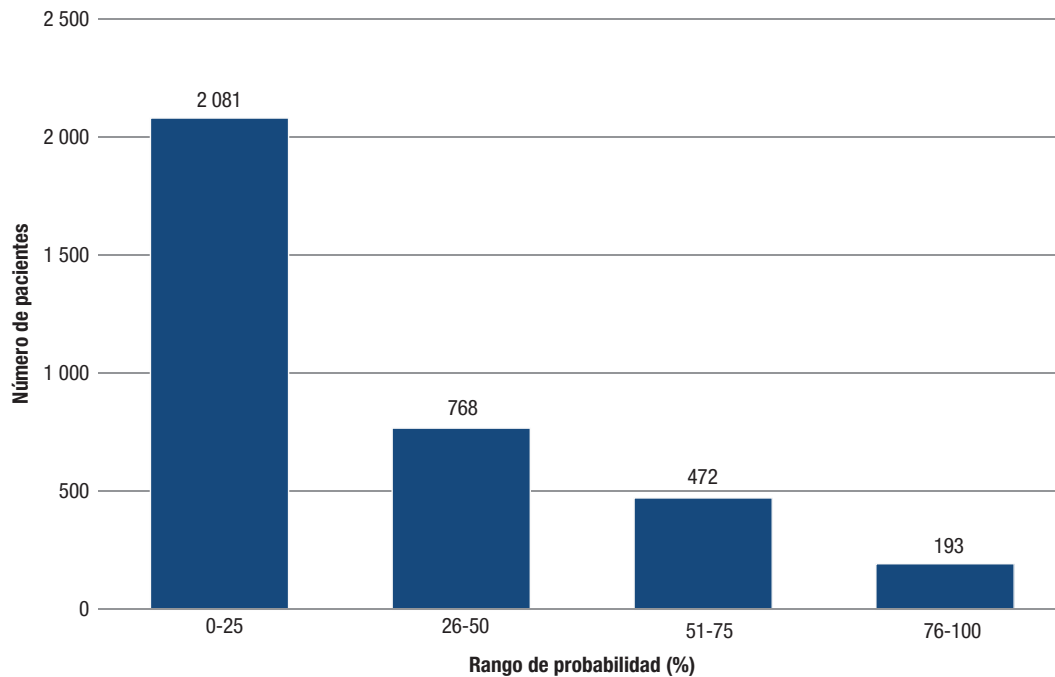
DISCUSIÓN

Ante la ausencia de un tratamiento farmacológico específico y eficaz contra la COVID-19 (1-9), es fundamental la detección temprana y el aislamiento sanitario inmediato de la persona infectada (5-8,16). En el tamizaje realizado con el sistema de IA para este trabajo, se han detectado 3 120 pacientes con COVID-19

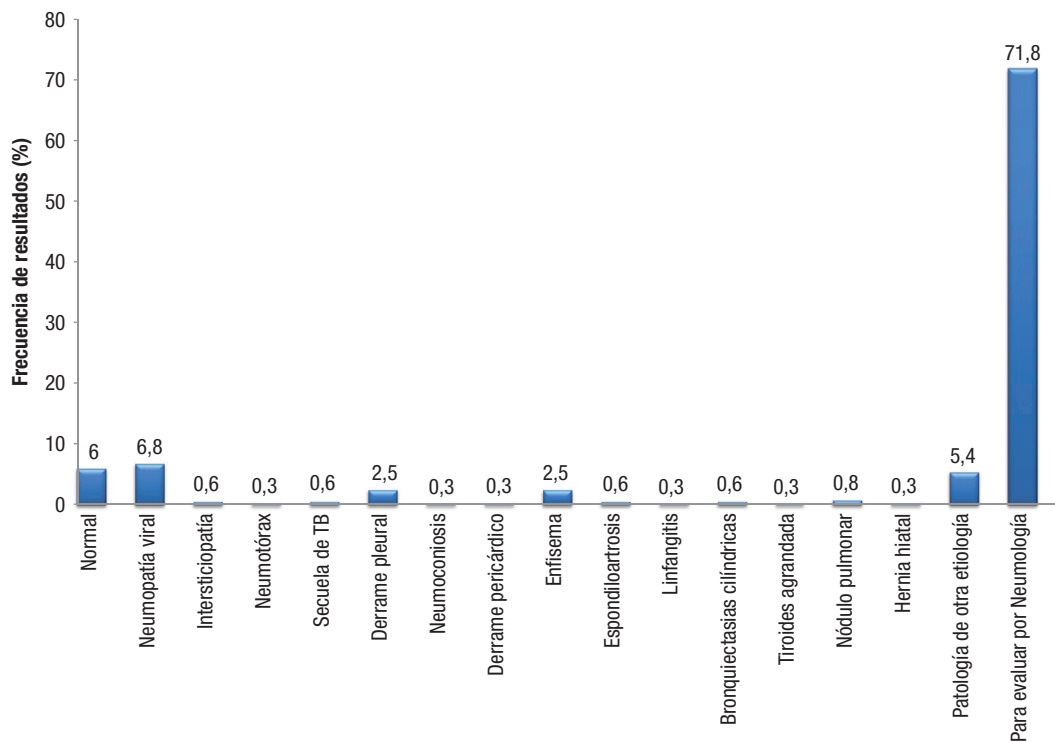
FIGURA 1. Grupos etarios de pacientes con afecciones respiratorias tamizados mediante imágenes radiológicas evaluadas con inteligencia artificial para la COVID-19 ($n = 3514$)



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 2. Resultados del tamizaje de afecciones respiratorias por imágenes radiológicas compatibles con COVID-19 evaluadas con inteligencia artificial en cuatro rangos de probabilidades (n = 3514)

Fuente: elaboración propia.

FIGURA 3. Definición de los casos de diagnósticos con probabilidad “cero” o “indefinido” obtenidos de la imágenes radiológicas evaluadas mediante inteligencia artificial para la COVID-19 (n = 394)

TB, tuberculosis.

Fuente: elaboración propia.

que fueron aislados de inmediato y puestos en cuarentena a fin de cortar la cadena de contagio en sus respectivos núcleos familiares y en la comunidad. Gracias a este resultado de tamizaje por IA, las autoridades sanitarias pudieron adoptar una decisión diligente para controlar la pandemia (5,8,16). Los signos clásicos valorados por los algoritmos de detección y diagnóstico del sistema de IA y los datos demográficos determinados en este estudio concuerdan con los resultados de otras investigaciones similares (14, 17-19).

Según la OMS, el diagnóstico de COVID-19 debe ser confirmado por el método RT-PCR. Sin embargo, las limitaciones para la toma de muestras, su transporte y la disponibilidad de los kits de reactivos necesarios ha influido para que se diagnostiquen por RT-PCR solo 30-60% de todos los casos positivos (1-9). Por otro lado, estudios recientes en concordancia con los resultados aquí presentados mostraron que la TAC de tórax podría ser un método más fidedigno, práctico y rápido para tamizar la COVID-19 (14,16-19), especialmente en zonas donde el hospital regional de referencia dispone del servicio de teletomografía. En el contexto del Paraguay, las ventajas comparativas entre los dos métodos diagnósticos en términos de costos y tiempo de entrega de resultados son: estudio de tórax por TAC (42,9 dólares estadounidenses, US\$), con resultados en 30 minutos, y una prueba de RT-PCR (78,6 US\$) con resultados en 24 horas (20).

La TAC de tórax es un método sistemático para el diagnóstico de neumonías por su rapidez y facilidad de realización a través de un protocolo de adquisición de imágenes. Investigaciones recientes han mostrado una sensibilidad de 98% para detectar COVID-19, en comparación con la sensibilidad de 71% de la RT-PCR (14,17-19). La sensibilidad y especificidad del sistema de IA utilizado en este estudio fue de 93% y 80%, respectivamente, valores que se lograron al comparar el diagnóstico realizado por IA versus la prueba RT-PCR. Se considera que las discrepancias en la sensibilidad (7%), la especificidad (20%) y la comparabilidad se deben a la falta de mayor número de estudios (*input*) en las plataformas de IA, para lograr una mayor retroalimentación en el aprendizaje del sistema de inteligencia (*machine learning*) y obtener una mayor precisión en la predicción de los resultados (*output*), o discrepancias en el uso de protocolos (cortes) para la TAC de tórax. En consecuencia, estos resultados no eran concluyentes para detectar los pacientes con COVID-19, lo que coincide con las evidencias notificadas en estudios similares (14,17-19).

Los resultados del presente nuestro estudio son muy prometedores y se concluye que esta herramienta basada en inteligencia artificial (*machine learning*) puede mitigar la deficiente disponibilidad de neumólogos y radiólogos altamente capacitados para el diagnóstico de varias enfermedades a partir de imágenes de TAC (COVID, gripe y TB, entre otras). Esto es particularmente importante en los hospitales sobrepasados en

su capacidad de procesamiento de imágenes durante la pandemia, y servir de triaje para racionalizar el uso de los limitados recursos humanos y tecnológicos, además de ofrecer equidad y universalidad en el acceso a tecnologías diagnósticas de alta complejidad en países de bajos ingresos como el Paraguay. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en investigaciones similares (14-19,21-24).

La fortaleza principal del presente estudio es la escala de valoración del sistema de IA, que puede aplicarse para evaluar la gravedad y extensión de la neumopatía causada por el coronavirus y, en consecuencia, medir de manera indirecta la carga viral (18).

Por otra parte, una de las principales limitaciones del estudio es no disponer de un mayor número de estudios en las plataformas de IA, para lograr una mayor retroalimentación en el aprendizaje del sistema de inteligencia.

CONCLUSIONES

Se puede afirmar que la utilización de la inteligencia artificial aplicada al estudio de imágenes radiológicas de tórax mediante TAC es un método sensible y específico para la detección rápida (tamizaje) de la COVID-19 por telemedicina en pacientes con afecciones respiratorias.

Esta herramienta podría utilizarse también para la monitorización de la evolución de los pacientes con casos graves de la enfermedad en localidades con déficit de equipamientos y de profesionales especializados.

Contribución de los autores. PG concibió el estudio original; JF, FG y OV planificaron los estudios, analizaron los datos e interpretaron los resultados; LR y RR recopilaron los datos; JO, JP y JB gestionaron el proyecto; y PG y EH redactaron y revisaron el manuscrito. Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final.

Agradecimientos. Los autores agradecen al Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias y del Ambiente (INERAM), la Dirección General de Gabinete (DGG), la Dirección de Tecnologías de la Información (DTIC), la Dirección General de Desarrollo de Servicios y Redes de Salud (DGSRS) y la Dirección General de Recursos Humanos (DGRRHH) del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPBS) de la República del Paraguay.

Conflicto de intereses. Ninguno declarado por los autores.

Declaración. Las opiniones expresadas en este manuscrito son responsabilidad del autor y no reflejan necesariamente los criterios ni la política de la *RPSP/PAJPH* y/o de la OPS.

REFERENCIAS

1. Wu Z, McGoogan JM. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *JAMA*. 2020;323(13):1239-1242.
2. Ministerio de Salud de Italia. Nuovo coronavirus: cosa c'è da sapere. Roma: Ministero de Salud; 2021. Disponible en: http://www.salute.gov.it/portale/documentazione/p6_2_8.jsp?lingua=italiano Acceso el 30 de agosto del 2021.
3. Organización Mundial de la Salud. Critical preparedness, readiness, and response actions for COVID-19: interim guidance, 7 March 2020. Ginebra: OMS; 2020. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331422> Acceso el 30 de agosto de 2020.
4. Organización Mundial de la Salud. EMT year in review 2018: emergency medical teams initiative. Ginebra: OMS; 2019. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/325997> Acceso el 30 de agosto del 2021.

5. Organización Mundial de la Salud. Considerations for quarantine of individuals in the context of containment for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance, 19 March 2020. Ginebra: OMS; 2020. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331497> Acceso el 30 de agosto del 2021.
6. Organización Mundial de la Salud. Infection prevention and control during health care when COVID-19 is suspected: interim guidance, 19 March 2020. Ginebra: OMS; 2020. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331495> Acceso el 30 de agosto del 2021.
7. Organización Mundial de la Salud y Comité Internacional de la Cruz Roja. Basic emergency care: approach to the acutely ill and injured: participant workbook. Ginebra: OMS; 2018. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/275635> Acceso el 30 de agosto del 2021.
8. Organización Mundial de la Salud. Critical preparedness, readiness, and response actions for COVID-19: interim guidance, 27 May 2021. Ginebra: OMS; 2021. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/341520> Acceso el 30 de agosto del 2021.
9. Organización Mundial de la Salud. Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages: interim guidance, 6 April 2020. Ginebra: OMS; 2020. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331695> Acceso el 30 de agosto del 2021.
10. Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social del Paraguay. Datos oficiales. Disponible en: <https://www.mspbs.gov.py/index.php>
11. Galván P, Cabral MB, Cane V. Implementación de un sistema de telemedicina (Telesalud) en el Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud. *Mem Inst Invest Cienc Salud*. 2008;4(1):20-7.
12. Galván P, Velázquez M, Benítez G, Ortellado J, Rivas R, Barrios A, Hilario E. Impacto en la salud pública del sistema de telediagnóstico implementado en Paraguay. *Rev Panam Salud Publica*. 2017;41:e74.
13. Rawat W, Wang Z. Deep convolutional neural networks for image classification: a comprehensive review. *Neural Comput*. 2017;29(9):2352-2449.
14. Kundu S, Elhalawani H, Gichoya JW, Kahn CE. How might AI and chest imaging help unravel COVID-19's mysteries? *Radiol Artif Intell*. 2020;2(3):e200053. Doi: 10.1148/ryai.2020200053.
15. Smith K, Kang A, Kirby J. Automated interpretation of blood culture gram stains using a deep convolutional neural network. *J Clin Microbiol*. 2018;56(3). Doi: 10.1128/JCM.01521-17.
16. Huang G, Tao G, Guangbin Wang J, Xinfu G, Erpeng C, Shirong L, Xiaohu L, Yongqiang Y, Liangjie L. Timely diagnosis and treatment shortens the time to resolution of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia and lowers the highest and last CT scores from sequential chest CT. *AJR*. 2020; 215:1-7. Doi: 10.2214/AJR.20.23078
17. Ai T, Yang Z, Hou H, Zhan C, Chen C, Lu W, et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing in coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: a report of 1014 cases. *Radiol Artif Intell*. 2020;296(2):32-40. Doi: 10.1148/radiol.2020200642
18. Zhao W, Zhong Z, Xie X, Yu Q, Liu J. Relation between chest CT findings and clinical conditions of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: a multicenter study. *AJR*. 2020; 214(5):1072-1077. Doi: 10.2214/AJR.20.22976.
19. Liaoyi L, Gangze F, Shuangli C, Jiejie T, Andan Q, Yunjun Y, Meihao W. CT Manifestations of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia and influenza virus pneumonia: a comparative study. *AJR*. 2021;216(1):71-79. Doi: 10.2214/AJR.20.23304.
20. Asociación Paraguaya de Sanatorios y Hospitales Privados. Disponible en: <https://www.facebook.com/Asociaci%C3%B3n-Paraguaya-de-Sanatorios-y-Hospitales-Privados-567665953393750/> Acceso el 30 de agosto del 2021.
21. Westbrook JI, Braithwaite J, Gibson K, Paoloni R, Callen J, Georgiou A, Creswick N, Robertson L. Use of information and communication technologies to support effective work practice innovation in the health sector: a multi-site study. *BMC Health Serv Res*. 2009;9:201. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1472-6963-9-201>
22. Gonzalez-Gonzalo C, Liefers B, van Ginneken B, Sanchez C. Iterative augmentation of visual evidence for weakly-supervised lesion localization in deep interpretability frameworks: application to color fundus images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2020;39(11):3499-3511. Doi: 10.1109/TMI.2020.2994463
23. Revisión sistemática de la literatura sobre telemedicina. *Rev Panam Salud Publica*. 2001;10(4):257-8. Doi: 10.1590/S1020-49892001001000006
24. Galván P, Velázquez M, Rivas R, Benítez G, Barrios A, Hilario E. Health diagnosis improvement in remote community health centers through telemedicine. *Med Access Point Care*, 2018;2:1-4. Doi: 10.1177/2399202617753101

Manuscrito recibido el 9 de julio del 2021. Aceptado para su publicación, tras revisión, el 15 de septiembre del 2021.

Feasibility of using artificial intelligence for screening COVID-19 patients in Paraguay

ABSTRACT

Objective. Study the feasibility of using artificial intelligence as a sensitive and specific method for COVID-19 screening in patients with respiratory conditions, using chest CT scan images and a telemedicine platform.

Methods. From March 2020 to June 2021, the authors conducted an observational descriptive multicenter feasibility study based on artificial intelligence (AI) for COVID-19 screening using chest images of patients with respiratory conditions who presented at public hospitals. The AI platform was used to diagnose chest CT scan images; this was then compared with molecular diagnosis (RT-PCR) to determine whether they matched and to analyze the feasibility of AI for screening patients with suspected COVID-19. A telemedicine platform was used to send images and diagnostic results.

Results. Screening of 3 514 patients with a suspected COVID-19 diagnosis was performed in 14 hospitals around the country. Most patients were aged 27 to 59 years, followed by those over 60. The average age was 48.6 years; 52.8% were male. The most frequent findings were severe pneumonia, bilateral pneumonia with pleural effusion, bilateral pulmonary emphysema, and diffuse ground glass opacity, among others. There was an average of 93% matching and 7% mismatching between images analyzed by AI and RT-PCR. Sensitivity and specificity of the AI system, obtained by comparing AI and RT-PCR screening results, were 93% and 80% respectively.

Conclusions. The use of sensitive and specific AI for stratified rapid detection of COVID-19 in patients with respiratory conditions by using chest CT scan images and a telemedicine platform in public hospitals in Paraguay is feasible.

Keywords

Screening; COVID-19; artificial intelligence; telemedicine; telediagnosics; digital technology; Paraguay.

Viabilidade do uso de inteligência artificial na triagem de pacientes com COVID-19 no Paraguai

RESUMO

Objetivo. Examinar a viabilidade do uso de inteligência artificial como um método sensível e específico de triagem de COVID-19 em pacientes com afecções respiratórias, empregando imagens obtidas por exame de tomografia do tórax e uma plataforma de telemedicina.

Métodos. Entre março de 2020 e junho de 2021, foi realizado um estudo observacional descritivo multicêntrico sobre a viabilidade do uso de inteligência artificial (IA) para a triagem de COVID-19, empregando imagens do tórax de pacientes com afecções respiratórias atendidos em hospitais da rede pública. O diagnóstico das imagens obtidas em tomografia do tórax foi realizado por meio de uma plataforma de IA e, em seguida, cotejado com o diagnóstico molecular (RT-PCR) para determinar a concordância entre os métodos utilizados e analisar a viabilidade deste processo para a triagem de pacientes com suspeita de COVID-19. As imagens e os resultados do exame diagnóstico foram disponibilizados em uma plataforma de telemedicina.

Resultados. Foi realizada a triagem de 3 514 pacientes com suspeita de COVID-19 atendidos em 14 hospitais de todo o país. Os pacientes, na sua maioria, tinham entre 27 e 59 anos de idade ou pertenciam à faixa etária acima de 60 anos, com média de idade de 48,6 anos, sendo que 52,8% eram do sexo masculino. Os achados mais comuns foram pneumonia grave, pneumonia bilateral com derrame pleural, enfisema pulmonar bilateral e opacidade difusa em vidro fosco, entre outros. Verificou-se, em média, 93% de concordância e 7% de discordância entre as imagens analisadas com uso de IA e os resultados do exame de RT-PCR, com uma sensibilidade de 93% e especificidade de 80% desse sistema de triagem.

Conclusões. Demonstrou-se que o uso de um sistema de IA sensível e específico é viável nos hospitais públicos do Paraguai para a detecção rápida estratificada de COVID-19 em pacientes com afecções respiratórias, empregando imagens de exame de tomografia do tórax e uma plataforma de telemedicina.

Palavras-chave

Triagem; COVID-19; inteligencia artificial; telemedicina; telediagnóstico; tecnologia digital; Paraguai.
