

Algoritmos de Inteligencia Artificial para mamografía en Unidades de Patología Mamaria

Artificial intelligence algorithms for mammography in Breast Cancer Centers

Víctor Acosta Marín^{1*}, Víctor Acosta Freitas¹, Orlando Aponte², Natalie Korsun², Fátima Gutierrez², Ana María Santiago², Ana Karina Ramírez², Carmen Elena Marin², Jessenia Kais², Roberto Prado²

RESUMEN

Los algoritmos de Inteligencia Artificial (IA) para mamografía mejoran la detección y el diagnóstico del cáncer de mama. En esta revisión, evaluamos los estudios que demuestran la capacidad de la IA para optimizar la interpretación de imágenes, reducir los falsos positivos y disminuir la carga de trabajo de los radiólogos. Se destacan hallazgos de estudios prospectivos como el DENSE y MASAI, que evalúan la eficacia de la IA en la detección del cáncer y la evaluación de la densidad mamaria. Se discute la implementación de un algoritmo de IA en una Unidad de Mastología en Caracas, Venezuela; se comparte

el abordaje multidisciplinario y multimodal de la evaluación mamaria, tanto en pesquisa oportunista como en diagnóstico. El artículo concluye abordando desafíos relacionados con la calidad de los datos, la ética y los sesgos, enfatizando la necesidad de una adopción segura y eficaz de la IA en la práctica clínica para complementar el abordaje multidisciplinario en mastología.

Palabras clave: Inteligencia artificial, Venezuela, mamografía, radiólogo, cáncer de mama.

SUMMARY

Artificial Intelligence (AI) algorithms for mammography enhance breast cancer detection and diagnosis. In this review, we evaluate studies demonstrating AI's ability to optimize image interpretation, reduce false positives, and decrease radiologists' workload. We

DOI: <https://doi.org/10.47307/GMC.2025.133.4.18>

Victor Acosta Marín. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3614-7595>

Victor Acosta Freitas. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4404-4755>

Ana Karina Ramírez. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5520-9074>

Marthelena Acosta. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3358-5220>

Recibido: 21 de agosto 2025

Aceptado: 30 de septiembre 2025

¹Servicio Cirugía de Mama, Centro Clínico de la Mama - CECLIM. Caracas, Venezuela

²Servicio Imagenología, Centro Clínico de la Mama - CECLIM. Caracas, Venezuela

³Servicio Anatomía Patológica, Centro Clínico de la Mama - CECLIM. Caracas, Venezuela

*Autor de correspondencia: Dr. Víctor Acosta Marín. E-mail: dr.victoracostamarin@gmail.com

highlight findings from prospective studies such as DENSE and MASAI, which assess the efficacy of AI in cancer detection and breast density evaluation. We discuss the implementation of an AI algorithm in a Mastology Unit in Caracas, Venezuela, as part of a multidisciplinary and multimodal approach to breast evaluation in both opportunistic screening and diagnosis. The article concludes by addressing challenges related to data quality, ethics, and biases, emphasizing the need for safe and effective adoption of AI in clinical practice to complement the multidisciplinary approach in mastology.

Keywords: Artificial intelligence, Venezuela, mammography, radiologist, breast cancer.

INTRODUCCIÓN

El cáncer de mama es un importante problema de salud pública y la detección temprana mediante mamografía juega un papel crucial en la reducción de las tasas de mortalidad. En los últimos años, la llegada de la inteligencia artificial (IA) ha traído avances significativos en el campo de la interpretación de la mamografía, con el potencial de mejorar la eficiencia y precisión del proceso de diagnóstico (1).

Los algoritmos de IA vienen fundamentalmente a mejorar la detección temprana del cáncer de mama y a ofrecer un diagnóstico más preciso. También vienen a optimizar los procesos incluyendo aquellos relacionados con anatomía patológica, radioterapia, cirugía de la mama, etc. Definitivamente están transformando la forma en que abordamos y analizamos la patología mamaria (2-5).

Los estudios han demostrado la eficacia de los sistemas basados en IA (tanto en mamografía como en ultrasonido) para mejorar la localización de las lesiones y reducir el número de resultados falsos positivos, sin comprometer la sensibilidad general del proceso de detección (4,6).

Esta última década ha sido denominada como “la década de la IA”. En estos últimos 10 años hemos experimentado el mayor avance en IA. Winsberg y col. (7) en 1967 publicaron uno de los primeros papers sobre análisis computarizado de imágenes de la mama, donde se utilizaba un escáner óptico e interpretado por una computadora según la distribución escala

de grises en comparación con la información obtenida de la mama contralateral, desde entonces un importante número de algoritmos se han desarrollado, cada vez más sofisticados (8,9).

Hay muchas áreas de interés de IA en el campo de la imagenología mamaria, pero están en distintas etapas de desarrollo y disponibilidad. La detección de cáncer y la densidad mamaria son las áreas más estudiadas hasta el momento, aunque hay temas como la aplicabilidad en los flujos de trabajos o “workflow” que ya están generando un fuerte impacto en los centros de mama en algunas partes del mundo donde manejan un elevado número de pacientes (10,11).

Densidad Mamaria

Sobre densidad mamaria está ampliamente estudiado que es un marcador de riesgo para cáncer de mama. Bodewes y col. (12), demostraron un OR de casi 4 veces para desarrollar cáncer de mama al comparar pacientes con mamas catalogadas con densidad ACR D versus ACR A.

Magni y col. (13) utilizaron un algoritmo que consiste en tres redes neuronales convolucionales y compararon la apreciación de 3 imagenólogos expertos en mamografías contra lo arrojado por el algoritmo de IA referente a densidad mamaria y encontraron una coincidencia del 90.4%.

El estudio DENSE evaluó 40373 mujeres con mamas extremadamente densas y resultados normales en mamografía, fueron aleatorizadas a dos brazos. 861 mujeres asignadas al grupo que incluiría imagen por resonancia magnética (IRM) complementaría al programa de cribado y 32312 mujeres al brazo de mamografía sola. El estudio concluyó que la adición de la IRM al cribado para pacientes con mamas extremadamente densas y mamografía normal resulta en el diagnóstico de un número significativo de menores cáncer de intervalo que utilizando mamografía sola durante un seguimiento de 2 años (14).

Hallazgos como este es de suma importancia ya que nos brinda un esquema de cribado que podemos ofrecer a nuestras pacientes con un factor de riesgo ampliamente conocido (mamas densas) y que incorporando la IA para un análisis objetivo de la misma puede tener repercusión

directa en la tasa de detección de lesiones tempranas (15).

La incorporación de algoritmos de inteligencia artificial (IA), especialmente aquellos basados en redes neuronales convolucionales, permite una evaluación objetiva y reproducible de la densidad mamaria. Esta capacidad de estandarización reduce la variabilidad interobservador y puede actuar como herramienta de apoyo para la toma de decisiones clínicas. Por ello, la sinergia entre el conocimiento epidemiológico, la tecnología de imagen avanzada y la inteligencia artificial representa una vía prometedora para optimizar la detección precoz del cáncer de mama, especialmente en sistemas de salud que buscan eficiencia diagnóstica y equidad en el acceso.

Tipo: Ensayo clínico poblacional, prospectivo, aleatorizado, controlado, de no inferioridad.

- Ubicación: Programa Nacional de Cribado de Cáncer de Mama de Suecia.
- Participantes: 105 934 mujeres entre 40 y 74 años, reclutadas entre abril de 2021 y julio de 2022.

Detección de cáncer, efectividad y tiempo de evaluación

La mayoría de la evidencia actual que tenemos deriva de estudios retrospectivos, pero hay dos estudios prospectivos que son mandatorios mencionar sobre detección de cáncer de mama. El primero, el estudio MASAI (*Mammography Screening with Artificial Intelligence trial*), del grupo de Lång y col., fue el primer ensayo clínico poblacional, prospectivo, aleatorizado, controlado, de no inferioridad del Programa Nacional de Cribado de Cáncer de Mama de Suecia, en el que se evaluaron alrededor de 80 mil mujeres aplicando IA (n=40 003) vs. el estándar doble lectura sin IA - grupo control (n=40 030). La diferencia absoluta en la detección de cáncer por 1 000 examinados fue 1,0 (IC del 95 %: 0,0–2,1), generando una tasa de detección superior para el análisis del algoritmo de IA (hasta un 20 %). La tasa de falsos positivos fue la misma en ambos grupos. 36 886 menos lecturas se realizaron en el grupo de intervención en comparación al grupo control, lo que representa una reducción

del 44,3 % en la carga de trabajo de lectura de pantalla (11). Lång presentó en el Congreso Europeo de Radiología (ECR) 2024, que se llevó a cabo en Viena, los últimos resultados del estudio tras alcanzar la evaluación de 106 mil pacientes y encontrar una tasa de detección de cáncer del 28 % para software Transpara® (ScreenPoint Medical), que asigna un puntaje de riesgo y prioriza las imágenes sospechosas para revisión humana, en relación a la lectura convencional doble por dos radiólogos independientes (p=0,002) (16). Estos datos nos brindan información contundente para la aplicabilidad de estos algoritmos en la detección del cáncer de mama en programas de pesquisa o cribado. La IA como primer lector en el cribado mamográfico poblacional no solo es no inferior, sino que mejora la detección sin aumentar falsos positivos ni comprometer la seguridad diagnóstica. Esto abre la puerta a su integración en sistemas de salud con alta demanda y escasez de especialistas.

El segundo estudio prospectivo es el estudio AITIC (Inteligencia Artificial y Cribado en Salud) representa una iniciativa prospectiva de gran relevancia en el ámbito de la inteligencia artificial aplicada a la salud, liderada por el Hospital Universitario Reina Sofía de Córdoba, en colaboración con el Instituto Maimónides de Investigación Biomédica de Córdoba (IMIBIC) y la Universidad de Córdoba, España. Este estudio que actualmente está abierto en período de reclutamiento busca reducir la carga de trabajo de los imagenólogos en más del 50 % con la utilización de un algoritmo de IA (Transpara®) con respecto al programa de cribado estándar, en aquellos casos de pesquisa catalogados como normales sin reducir la tasa de detección de cáncer de mama. También presentaron resultados preliminares en ECR 2024 y luego de alcanzar 24 mil estudios, demostró una alta precisión diagnóstica con IA ya que los algoritmos de IA aplicados al cribado mamario lograron una concordancia superior al 90 % con los radiólogos expertos en la clasificación de densidad mamaria, lo que valida el uso de IA como herramienta complementaria para reducir la variabilidad interobservador; además mejoró la detección de lesiones ya que la IA permitió identificar lesiones sospechosas que habían pasado desapercibidas en la lectura convencional, lo que sugiere un

potencial aumento en la tasa de detección precoz. Se demuestra que la estrategia es efectiva y segura ya que estudios de pesquisa catalogados como de bajo riesgo pueden ser clasificados como “normales” con la asistencia de IA de manera automatizada (17).

La evidencia indica que la utilización de los algoritmos de IA ha demostrado su no inferioridad. Así, McKinney y col. (18) seleccionaron datos de dos centros en el Reino Unido (esquema de pesquisa cada 3 años) y un conjunto de datos de un centro académico en Estados Unidos (esquema de pesquisa cada 1-2 años). Seis observadores independientes evaluaron cerca de 28 mil pacientes y compararon sus resultados con la evaluación de un algoritmo de IA. Con la utilización del algoritmo demostraron una reducción absoluta del 5,7 % y 1,2 % (EE.UU y Reino Unido, respectivamente) en los falsos positivos y del 9,4 % y 2,7 % en los falsos negativos. El algoritmo IA superó a todos los lectores humanos: el área bajo la curva característica operativa del receptor (AUC-ROC) para el sistema de IA fue mayor que el AUC-ROC del radiólogo promedio por un margen absoluto del 11,5 %. El rendimiento del algoritmo en el escenario de doble lectura no fue inferior y redujo la carga de trabajo del segundo lector en un 88 %.

En el Centro Clínico de la Mama (CECLIM), unidad de patología mamaria en Caracas -Venezuela y centro de análisis de nuevas tecnologías, se han evaluado algoritmos de IA tanto para mamografía como para ultrasonido mamario, conformando el Circuito Full Smart (CFS), siendo el primer centro a nivel nacional que utiliza algoritmos de IA en todos los estudios morfológicos que ofrece.

Los algoritmos de IA que actualmente se usan en el CECLIM para la evaluación de mamografías se integran como método de apoyo en segunda y tercera lectura de la mano de imagenólogos expertos en imágenes mamarias. Varios de estos algoritmos son cerrados ((p.ej: brAInray), ya que se entrenan en base a imágenes anteriores. Los algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*) se basan en un paradigma de aprendizaje supervisado, donde la máquina “aprende” mediante ejemplos validados previamente por radiólogos calificados con experiencia

comprobada en mamografía. El aprendizaje supervisado es un tipo de aprendizaje automático en el que se entrena un modelo sobre la base de un conjunto de datos de entrenamiento de entrada para los cuales ya se conocen las respuestas correctas correspondientes. Estas respuestas suelen denominarse etiquetas o variables objetivo. La tarea del modelo es aprender a predecir las respuestas correctas para datos nuevos, nunca antes vistos, basándose en la experiencia adquirida en la etapa de aprendizaje. Este algoritmo ofrece información sobre BI-RADS®, calidad de la imagen y densidad mamaria (Figuras 1 y 2). Además, genera un informe estructurado con la información resultante del análisis. Genera categorización de microcalcificaciones asistiendo en la toma de decisiones (Figura 3), de igual manera identificación de asimetrías de densidad con grado de sospecha (Figura 4) y funciona como una especie de “auditor interno” sobre calidad de la imagen desde “perfecta” hasta “inadecuada”.

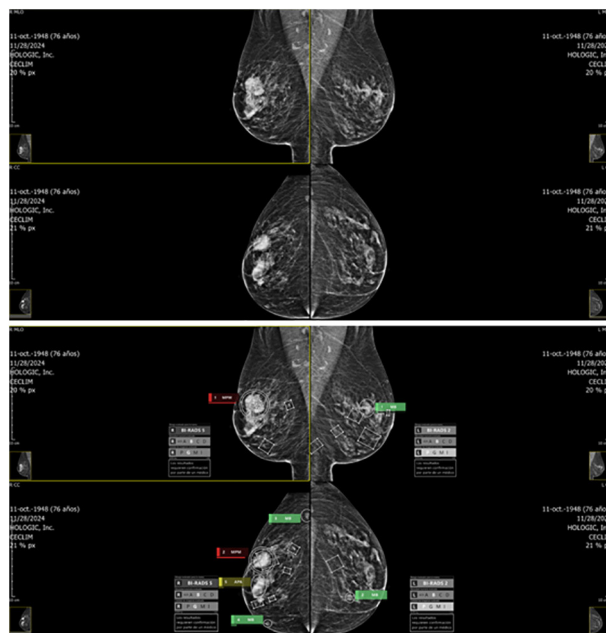


Figura 1. Paciente de 76 años con lesión palpable en mama derecha. brAInray lo catalogó como BI-RADS 5. La evaluación anatomopatológica de la biopsia percutánea arrojó Carcinoma Ductal Infiltrante (grado histológico 2), Luminal A.

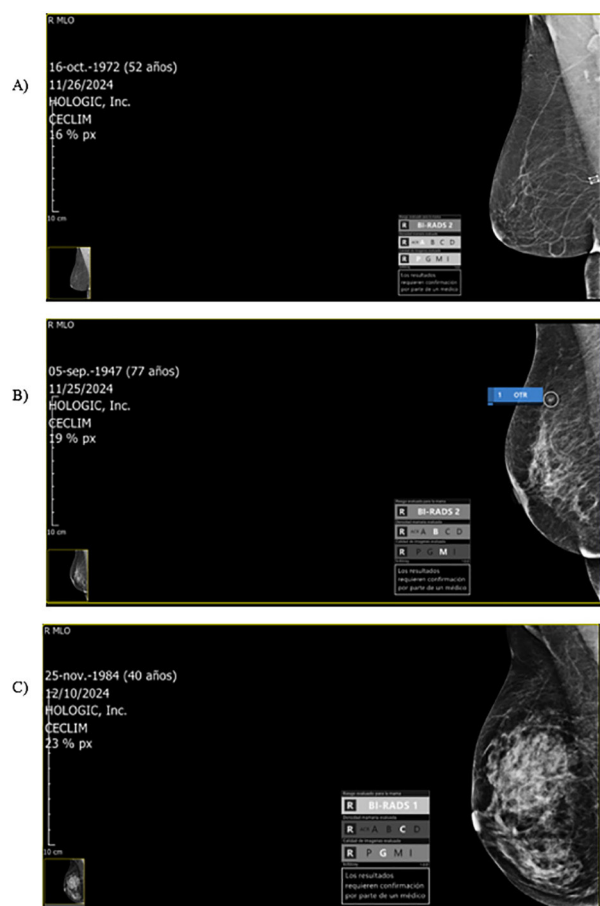


Figura 2. Categorización de densidad mamaria según la 4^{ta} edición del B-RADS® del Colegio Americano de Radiología (ACR). A) ACR A, B) ACR B, C) ACR C.

En la actualidad se sigue generando información y nutriendo algoritmos de IA para optimizar la evaluación de las pacientes que acuden a Unidades de Mama para una excelente mastología. En estos momentos, los algoritmos de IA son una herramienta importante para los imagenólogos especialistas en imagenología mamaria que buscan optimizar su tasa de detección y el flujo de trabajo en unidades con alto volumen.

Los algoritmos de IA han demostrado un gran potencial para mejorar la detección temprana y el diagnóstico preciso del cáncer de mama y siguen avanzando en asistencia clínica y aplicación terapéutica. Es crucial abordar los desafíos

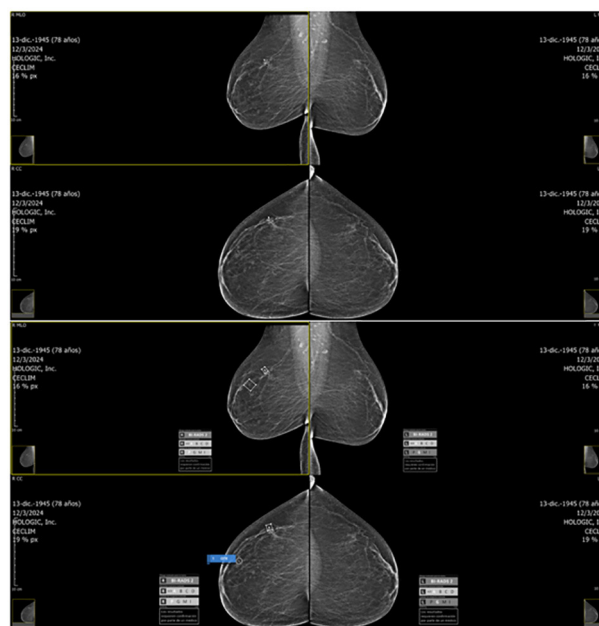


Figura 3. Paciente de 78 años con microcalcificaciones identificadas tanto por el Imagenólogo como por brAIray como sin grado de sospecha, BI-RADS® 2. Seguimiento anual.

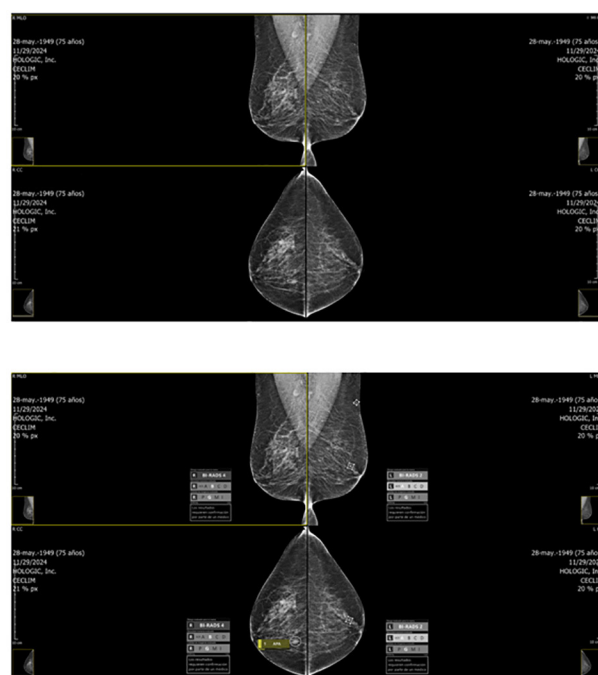


Figura 4. Paciente de 75 años que consulta por mamografía de pesquisa y el estudio demuestra una asimetría de densidad en la mama derecha que categoriza como una lesión de sospecha BI-RADS® 4. La lesión resultó ser un Carcinoma Ductal Infiltrante (grado histológico 2), Luminal B.

relacionados con la calidad de los datos, la ética, los sesgos y la integración de estos sistemas en la práctica clínica para garantizar su adopción segura y eficaz. A medida que la IA se integre cada vez más en la práctica médica y la obtención de más ensayos de Evidencia del Mundo Real (*Real World Evidence* - RWE), se espera que su uso en mastología continúe evolucionando. Por el momento el abordaje multidisciplinario, multimodal y de complementariedad sigue estando vigente y brindando resultados óptimos, llegando a una elevada precisión cuando incorporamos tecnología como la IA.

REFERENCIAS

1. Díaz O, Rodríguez-Ruiz A, Sechopoulos I. Artificial Intelligence for breast cancer detection: Technology, challenges, and prospects. *Eur J Radiol*. 2024;175:111457.
2. Larsen M, Olstad CF, Koch HW, Martiniussen MA, Hoff SR, Lund-Hanssen H, et al. AI Risk Score on Screening Mammograms Preceding Breast Cancer Diagnosis. *Radiology*. 2023;309(1):e230989.
3. Alexander A, Jiang A, Ferreira C, Zurkiya D. An Intelligent Future for Medical Imaging: A Market Outlook on Artificial Intelligence for Medical Imaging. *J Am Coll Radiol*. 2020;17(1 Pt B):165-170.
4. Larsen M, Olstad CF, Koch HW, Martiniussen MA, Hoff SR, Lund-Hanssen H, et al. AI Risk Score on Screening Mammograms Preceding Breast Cancer Diagnosis. *Radiology*. 2023;309(1):e230989.
5. Kaidar-Person O, Antunes M, Cardoso JS, Ciani O, Cruz H, Di Micco R, et al. CINDERELLA Consortium. Evaluating the ability of an artificial-intelligence cloud-based platform designed to provide information prior to locoregional therapy for breast cancer in improving patient's satisfaction with therapy: The CINDERELLA trial. *PLoS One*. 2023;18(8):e0289365.
6. Mango VL, Sun M, Wynn RT, Ha R. Should We Ignore, Follow, or Biopsy? Impact of Artificial Intelligence Decision Support on Breast Ultrasound Lesion Assessment. *AJR Am J Roentgenol*. 2020;214(6):1445-1452. Erratum in: *AJR Am J Roentgenol*. 2020;215(1):262.
7. Winsberg F, Elkin M, Macy J, Bordaz V, Weymouth W. Detection of Radiographic Abnormalities in Mammograms by Means of Optical Scanning and Computer Analysis Radiology. 1967;89(2):211-215.
8. Bahl M. Updates in Artificial Intelligence for Breast Imaging. *Semin Roentgenol*. 2022;57(2):160-167.
9. Sechopoulos I, Teuwen J, Mann R. Artificial intelligence for breast cancer detection in mammography and digital breast tomosynthesis: State of the art. *Semin Cancer Biol*. 2021;72:214-225.
10. Taylor CR, Monga N, Johnson C, Hawley JR, Patel M. Artificial Intelligence Applications in Breast Imaging: Current Status and Future Directions. *Diagnostics (Basel)*. 2023;13(12):2041.
11. Lång K, Josefsson V, Larsson AM, Larsson S, Högberg C, Sartor H, et al. Artificial intelligence-supported screen reading versus standard double reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI): A clinical safety analysis of a randomised, controlled, non-inferiority, single-blinded, screening accuracy study. *Lancet Oncol*. 2023;24(8):936-944.
12. Bodewes FTH, van Asselt AA, Dorrius MD, Greuter MJW, de Bock GH. Mammographic breast density and the risk of breast cancer: A systematic review and meta-analysis. *Breast*. 2022;66:62-68.
13. Magni V, Cozzi A, Schiaffino S, Colarieti A, Sardanelli F. Artificial intelligence for digital breast tomosynthesis: Impact on diagnostic performance, reading times, and workload in the era of personalized screening. *Eur J Radiol*. 2023;158:110631.
14. Bakker MF, de Lange SV, Pijnappel RM, Mann RM, Peeters PHM, Monninkhof EM, et al; DENSE Trial Study Group. Supplemental MRI Screening for Women with Extremely Dense Breast Tissue. *N Engl J Med*. 2019 28;381(22):2091-2102.
15. González CR, Gordillo AL, Acosta V. Estrategias de pesquisa en mujeres de alto riesgo para cáncer de mama: revisión de la literatura, *Rev Senol Patol Mamar*. 2024;37:100594.
16. Lång K. Cancer detection in relation to type and stage in the randomised Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI), European Congress of Radiology, Vienna, Austria, 2024.
17. Elías EC, Artificial Intelligence in Breast Cancer Screening Programs in Córdoba (AITIC) - Clinical Study ID NCT04949776 AITIC, European Congress of Radiology, Vienna, Austria, 2024.
18. McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, Godwin J, Antropova N, Ashrafi H, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*. 2020;577(7788):89-94. 2020. Erratum in: *Nature*. 2020;586(7829):E19.