

Ecocardiografía fetal asistida por inteligencia artificial en la detección y diagnóstico de cardiopatías congénitas fetales

 Eduardo Reyna-Villasmil.¹

RESUMEN

La ecocardiografía fetal desempeña un papel crucial en el diagnóstico temprano de cardiopatías congénitas, las cuales son defectos congénitos asociados con una elevada morbilidad neonatal. Aunque esta técnica puede identificar hasta el 85 % de las cardiopatías congénitas, la precisión de los resultados depende significativamente de la experiencia del operador y presenta limitaciones técnicas, incluida la baja reproducibilidad. La inteligencia artificial, que incluye tanto el aprendizaje automático como el profundo, se presenta como una solución prometedora para abordar tales desafíos. Los modelos de ecocardiografía fetal asistida por inteligencia artificial han demostrado alta sensibilidad y especificidad en la detección y clasificación de cardiopatías congénitas, lo que facilita el cribado en regiones con escasez de expertos en esta área. El objetivo de esta revisión es evaluar las aplicaciones de la ecocardiografía fetal asistida por inteligencia artificial en la detección y diagnóstico de cardiopatías congénitas fetales.

Palabras clave: Ecocardiografía fetal; Cardiopatías congénitas; Inteligencia artificial; Diagnóstico prenatal.

Artificial intelligence-assisted fetal echocardiography in the detection and diagnosis of fetal congenital heart defects

SUMMARY

Fetal echocardiography plays a crucial role in the early diagnosis of congenital heart defects, which are congenital abnormalities associated with high neonatal morbidity and mortality. Although this technique can identify up to 85 % of congenital heart defects, the accuracy of the results significantly depends on the operator's experience and presents technical limitations, including low reproducibility. Artificial intelligence, which encompasses both machine learning and deep learning, emerges as a promising solution to address such challenges. Models of artificial intelligence-assisted fetal echocardiography have demonstrated high sensitivity and specificity in detecting and classifying congenital heart defects, facilitating screening in areas with a shortage of experts in this field. The objective of this review is to evaluate the applications of artificial intelligence-assisted fetal echocardiography in the detection and diagnosis of fetal congenital heart defects.

Keywords: Fetal echocardiography; Congenital heart defects; Artificial intelligence; Prenatal diagnosis.

INTRODUCCIÓN

La ecocardiografía fetal (EF) representa una modalidad de imagen médica esencial para diagnosticar cardiopatías congénitas (CC), las cuales son las formas más frecuentes de defectos congénitos y constituyen

un factor significativo de morbilidad neonatal (1). Esta técnica permite detectar el 85 % de estas condiciones. No se puede subestimar la importancia de un diagnóstico prenatal temprano y preciso, ya que mejora de manera notable los resultados y las tasas de supervivencia de los neonatos con CC (2). Además, identificar estas condiciones antes del nacimiento facilita una planificación diagnóstica y terapéutica adecuada, que incluye la opción de tratamiento intrauterino en casos seleccionados y la referencia oportuna a centros especializados que cuenten con los recursos necesarios para la atención cardíaca neonatal (2 - 4).

¹Hospital Central de Maracaibo. Servicio de Obstetricia y Ginecología - Maternidad "Dr. Nerio Bellosio". Maracaibo, Estado Zulia. VENEZUELA. El autor no declara conflictos de interés. Correo para correspondencia: sippenbauch@gmail.com

Forma de citar este artículo: Reyna-Villasmil E. Ecocardiografía fetal asistida por inteligencia artificial en la detección y diagnóstico de cardiopatías congénitas fetales. Rev Obstet Ginecol Venez. 2025;85(4):685-693. DOI: 10.51288/00850421

A lo largo de los años, los avances en las técnicas de EF han mejorado progresivamente la capacidad para detectar CC fetales. Esta técnica permite evaluar exhaustivamente la compleja anatomía y función cardiaca fetal mediante el análisis de múltiples planos de imagen (4). Sin embargo, a pesar de estos avances y de la alta sensibilidad de la EF cuando es realizada por profesionales experimentados, es necesaria una mejora en las tasas de diagnóstico prenatal de CC en la mayoría de los países (5). Diferentes estudios indican que las tasas de detección pueden ser tan bajas como 10 % - 26 % en las exploraciones obstétricas rutinarias (3, 4). Además, existe una variabilidad sustancial en esas tasas según la región y el nivel de experiencia disponible (6).

La EF tradicional enfrenta limitaciones derivadas de diversos factores, incluidos los fetales (posición y movimientos involuntarios), maternos (grosor de la pared abdominal) y las capacidades del propio equipo de ecografía. Quizás la limitación más importante radica en que la precisión y fiabilidad de los resultados dependen de las habilidades y experiencia del operador (5, 7). El proceso de adquisición de los planos precisos necesarios para la evaluación detallada y la obtención de mediciones biométricas requiere tiempo y a menudo resulta difícilmente reproducible, lo que complica la estandarización de la prueba (8, 9).

El desafío de lograr tasas óptimas de detección prenatal de CC subraya la necesidad de implementar soluciones innovadoras. Estas soluciones deben superar las limitaciones asociadas al operador y a las complejidades técnicas de la EF (5). Las disparidades en las tasas de detección observadas entre diferentes zonas geográficas, así como la dependencia de conocimientos especializados, destacan el potencial de la inteligencia artificial (IA) para desempeñar un papel transformador (3 - 5). Esta podría estandarizar y mejorar el proceso de diagnóstico de las evaluaciones cardíacas prenatales, aumentando tanto la precisión como la accesibilidad de esta técnica (10, 11). El

objetivo de esta revisión fue evaluar las aplicaciones de ecocardiografía fetal asistida por inteligencia artificial en la detección y diagnóstico de cardiopatías congénitas fetales.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La IA, que abarca los campos del aprendizaje automático (AA) y el aprendizaje profundo (AP), ha emergido como una fuerza poderosa y cada vez más influyente, especialmente en el diagnóstico por imágenes. En esencia, la IA utiliza un conjunto de técnicas que permiten generar algoritmos, descubrir patrones en los datos y simular procesos de aprendizaje y pensamiento humanos (12). En el contexto de la EF, la IA tiene el potencial de automatizar y estandarizar la visualización de cada sección del corazón fetal, contribuyendo a diagnósticos más precisos y optimizando la utilidad clínica. Además, puede mitigar la alta dependencia de la experiencia y destreza individual, lo que conduciría a una mayor consistencia en los hallazgos (13).

El AA emplea algoritmos que utilizan datos para identificar patrones y hacer predicciones, mientras que el AP utiliza redes neuronales complejas para analizar grandes cantidades de datos y extraer conclusiones, superando a menudo los enfoques tradicionales del AA. La creciente aplicación de la IA en el diagnóstico médico se apoya en su capacidad para procesar información rápidamente, mejorar el acceso a herramientas de diagnóstico y aumentar la eficiencia general, lo que ha llevado a una demanda creciente de soluciones de IA en entornos clínicos. Los recientes avances en técnicas de IA han impulsado esfuerzos de investigación destinados a perfeccionar el proceso de exploración, mejorar la calidad de las imágenes médicas y reforzar las capacidades de detección y diagnóstico de diversas afecciones médicas, incluidas las CC (13).

El éxito de la IA en diversas técnicas de imagen médica sugiere un gran potencial para su aplicación en

ECOCARDIOGRAFÍA FETAL ASISTIDA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE CARDIOPATÍAS CONGÉNITAS FETALES

la EF. La capacidad de la IA para analizar información visual compleja, identificar anomalías sutiles que podrían escapar a la detección humana y automatizar mediciones complejas y repetitivas resulta útil para la obtención de imágenes del corazón fetal (13, 14). La creciente demanda de la IA en entornos clínicos aumenta la precisión de los diagnósticos, y agiliza el flujo de trabajo médico. La integración de la IA en la EF representa una vía prometedora para abordar las limitaciones existentes (14).

ECOCARDIOGRAFÍA FETAL ASISTIDA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE CARDIOPATÍAS CONGÉNITAS FETALES

La EF asistida por IA representa una vía efectiva para mejorar la precisión diagnóstica en el cribado de cardiopatías congénitas fetales, especialmente en regiones donde el acceso a médicos expertos es limitado. Un metaanálisis demostró que los modelos de IA tienen un mayor rendimiento al distinguir con precisión entre imágenes ecográficas normales y aquellas indicativas de CC, alcanzando valores elevados de sensibilidad y especificidad. Otros estudios han resaltado el potencial de la IA en la detección precoz de CC, dada su capacidad para diferenciar diversas anomalías cardíacas. Por ejemplo, la IA puede reconocer patrones asociados con diferentes tipos de CC (14, 15).

Además, la IA desempeña un papel crucial en la reducción de las dificultades diagnósticas, automatizando el proceso de detección de CC, facilitando la obtención de planos de imagen estandarizados e identificando diferentes estructuras cardíacas. Los algoritmos de IA pueden detectar defectos cardíacos congénitos con gran precisión en diversas edades gestacionales. Asimismo, tienen el potencial de automatizar la identificación de planos

cardíacos estándar, esenciales para el diagnóstico (16). La capacidad de la IA para analizar datos de imagen complejos e identificar patrones sutiles asociados a las CC, que a menudo superan las capacidades humanas, subraya su potencial transformador en este campo médico (15).

La IA ofrece ventajas significativas al superar diversas limitaciones inherentes al cribado tradicional de CC mediante EF. Esta tecnología puede aprovechar algoritmos informáticos avanzados que permiten una asistencia diagnóstica precisa y eficiente. Existe evidencia que muestra que la integración de la IA con la ecografía mejora la eficiencia clínica, reduce la variabilidad subjetiva interoperatoria y promueve la estandarización en la adquisición de planos de imagen. Esto resulta especialmente beneficioso en áreas donde los recursos médicos son escasos. Además, puede acortar la curva de aprendizaje de la EF y facilitar la formación en zonas remotas, donde el acceso a conocimientos especializados es limitado debido a la falta de profesionales capacitados y de recursos (17, 18).

Asimismo, la IA puede contribuir al procesamiento de imágenes, a la automatización de mediciones biométricas y al diagnóstico-predictivo automatizado de enfermedades, proporcionando una valiosa asistencia a los médicos en los procedimientos clínicos de cribado. Al aumentar los diagnósticos de anomalías, agilizar flujos de trabajo y garantizar la uniformidad de los análisis, estas tecnologías tienen la capacidad de superar las barreras en la atención prenatal (18).

Los resultados de distintos estudios indican que los programas basados en IA pueden mejorar la detección de ecografías sospechosas de CC, entre ginecoobstetras y subespecialistas en medicina maternofetal. Esto podría aumentar potencialmente la tasa de detección, incluso entre no especialistas, dando lugar a diagnósticos más tempranos (19).

ECOCARDIOGRAFÍA FETAL ASISTIDA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ESTRATIFICACIÓN Y PREDICCIÓN DEL RIESGO EN CARDIOLOGÍA FETAL

La IA tiene la capacidad de analizar datos obtenidos durante la EF, incluidos patrones de frecuencia cardíaca fetal y anomalías estructurales sutiles, para predecir el riesgo de afecciones fetales específicas. Asimismo, puede contribuir a la predicción de riesgos de resultados adversos. Por ejemplo, los algoritmos de AA pueden entrenarse para identificar embarazos con alto riesgo de complicaciones, como parto pretérmino o diabetes gestacional, lo que permite realizar intervenciones oportunas y específicas, como aplicar planes de tratamiento. Existen modelos predictivos que pueden estimar resultados adversos fetales con gran precisión mediante el análisis de los antecedentes maternos y las características de las imágenes derivadas de la EF (20).

La IA ha demostrado su utilidad en la estratificación del riesgo, capacidad que se extiende al ámbito específico de las CC, sobresaliendo tanto en la detección inicial como en la progresión. Esta capacidad permite la implementación de intervenciones tempranas. La tecnología ayuda en la estratificación del riesgo al considerar una gama de variables específicas del paciente, facilitando el desarrollo de estrategias de seguimiento y la aplicación de intervenciones dirigidas (15).

Además, los sistemas de apoyo en la toma de decisiones basados en IA pueden mejorar el proceso de gestión de riesgo al ofrecer recomendaciones basadas en evidencia que se adapten a cada paciente. Esta integración efectiva en la estratificación del riesgo tiene el potencial de mejorar los resultados perinatales al permitir intervenciones tempranas, facilitar la planificación de tratamientos y, en última instancia, reducir la incidencia de complicaciones asociadas con las CC (20).

EFICIENCIA Y PRECISIÓN DE LOS FLUJOS DE TRABAJO DE LA ECOCARDIOGRAFÍA FETAL ASISTIDA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La IA ofrece una oportunidad para mejorar tanto la eficiencia como la precisión de los flujos de trabajo implicados en la EF. Esta tecnología puede agilizar el proceso de segmentación de estructuras cardíacas dentro de las imágenes. Además, puede ayudar a usuarios menos experimentados para obtener vistas de calidad de manera más rápida y consistente. Asimismo, contribuye mediante la estandarización de la adquisición de planos de diagnóstico específicos (21 - 23).

Mediante la automatización de tareas rutinarias, la IA puede aliviar la carga de trabajo de los especialistas en medicina fetal, lo que podría conducir a tiempos de espera más cortos para los pacientes y a una mejora en la eficiencia de la atención. La capacidad de proporcionar interpretaciones coherentes de las imágenes y reducir la incidencia de errores humanos mejora tanto la eficiencia como la fiabilidad del flujo de trabajo (22).

El análisis de imágenes de EF asistida por IA está mejorando activamente la detección precoz de CC fetales, incrementando la precisión del diagnóstico, aumentando la confianza de los médicos en sus hallazgos y conduciendo a mejores resultados perinatales. La asistencia proporcionada por la IA mejora las tasas de detección, refuerza la confianza en las conclusiones diagnósticas y reduce el tiempo necesario para las evaluaciones (24).

La optimización del flujo de trabajo puede acelerar la entrega de los informes de EF. Además, desempeña un papel crucial en garantizar la calidad y coherencia de las evaluaciones, guiando a los obstetras a través de procedimientos complejos, asegurando las mejores prácticas y mejorando la precisión de los diagnósticos (25).

RETOS Y LIMITACIONES DE LA APLICACIÓN DE LA ECOCARDIOGRAFÍA FETAL ASISTIDA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Uno de los principales retos para implantar con éxito la EF asistida por IA es la limitada disponibilidad de datos suficientemente grandes, de alta calidad y cuidadosamente almacenados, que son esenciales para entrenar algoritmos robustos y generalizables (26). El proceso de desarrollo y validación de estos algoritmos para la detección precisa de CC fetales es complejo y requiere esfuerzos considerables, incluyendo la recopilación y etiquetado de grandes cantidades de imágenes y videos de EF normales y anormales. El progreso de las aplicaciones de IA en cardiología pediátrica y de adultos se ha visto limitado por la falta de conjuntos de datos específicos que sean adecuados en tamaño y etiquetado (27, 28).

La calidad de las imágenes de la EF puede variar debido a múltiples factores, como el nivel de habilidad del operador, la posición fetal y las características físicas de la madre (como el peso corporal). Por ejemplo, las imágenes obtenidas en entornos comunitarios pueden diferir en calidad y número de vistas capturadas en comparación con las obtenidas en centros especializados de atención terciaria (28). Diferentes investigadores han indicado que la baja calidad de las imágenes tiene efectos perjudiciales en el rendimiento de los modelos y puede reducir la información proporcionada por el sistema de IA. Por otra parte, la subjetividad del diagnóstico prenatal de CC puede contribuir a la variabilidad entre diferentes modelos, lo que resalta la necesidad de datos a gran escala y de alta calidad para garantizar un entrenamiento eficaz y un rendimiento fiable. Además, la pérdida de datos durante la recopilación y la ausencia de protocolos de investigación estandarizados para CC presentan limitaciones adicionales para el desarrollo y la validación en este campo (24).

Otro obstáculo es la falta de transparencia e interpretabilidad en los procesos de toma de decisiones de algunos algoritmos, conocido como el problema de la “caja negra”. Esta opacidad puede dificultar la confianza en los resultados, ya que se puede dudar en confiar en diagnósticos o recomendaciones cuyo razonamiento subyacente no se puede comprender o validar. Se reconoce la necesidad de mejorar la información, la capacidad de explicación y la transparencia de estas herramientas utilizadas en radiología para justificar los diagnósticos, recomendaciones terapéuticas y predicciones (29). Además, las incertidumbres en torno a la responsabilidad legal y la rendición de cuentas continúan siendo una preocupación que debe abordarse antes de su adopción generalizada (28, 30, 31).

El éxito de la integración de la IA en los flujos de trabajo de la EF depende del nivel de comodidad y aceptación de estas tecnologías por parte de los médicos. Actualmente, existen déficits en la formación clínica, conocimiento, experiencia práctica y comodidad general entre muchos profesionales de la salud. El proceso de integración en los flujos de trabajo de consultas médicas de alta actividad presenta un reto considerable (28).

Además de estos retos, es necesario considerar otras limitaciones. Aunque la IA pretende superar las limitaciones de la EF, como la variabilidad de la destreza del operador y la complejidad en la interpretación de imágenes, estos factores todavía presentan desafíos en las fases iniciales de la implementación. La heterogeneidad de las CC y la variabilidad del tamaño del corazón fetal en diferentes edades gestacionales plantean retos únicos que los algoritmos deben manejar de manera eficaz (27). Garantizar el acceso equitativo en todas las regiones geográficas y entornos sanitarios sigue siendo un obstáculo que debe abordarse para evitar aumentar las disparidades existentes. La rentabilidad general de la implementación, incluida la inversión inicial en tecnología y los costos continuos de mantenimiento y

formación, también requiere consideración y evaluación. Por último, existe una necesidad continua de estudios prospectivos que incluyan poblaciones más grandes y diversas para comparar el rendimiento de los algoritmos (27, 28, 31).

PANORAMA ÉTICO Y NORMATIVO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES FETALES

La integración de la IA en el campo de la imagen médica fetal plantea una serie de consideraciones éticas. Una de las principales preocupaciones éticas se centra en la transparencia de los algoritmos y la posibilidad de sesgos (32). Los algoritmos pueden perpetuar los sesgos presentes en los datos utilizados para entrenarlos. Además, la naturaleza de “caja negra” de algunos sistemas resulta en una falta de claridad respecto a los procesos de toma de decisiones. Esto puede reforzar disparidades existentes en la atención sanitaria si los algoritmos son entrenados con datos que no representan adecuadamente a poblaciones diversas (32, 33).

La privacidad y seguridad de los datos de los pacientes son consideraciones éticas clave en el contexto de la IA y el diagnóstico por imágenes fetales. Garantizar la confidencialidad e integridad de la información sensible utilizada para entrenar y operar algoritmos es crucial (34). Otro desafío ético surge de las incertidumbres sobre la responsabilidad legal y la rendición de cuentas en las decisiones clínicas. Determinar quién asume la responsabilidad en caso de un diagnóstico incorrecto o un resultado adverso plantea una cuestión legal y ética compleja que debe ser considerada (33, 35).

Los marcos éticos para la aplicación de la IA en radiología enfatizan la necesidad de priorizar el fomento del bien público y el valor social, garantizar la seguridad y la gobernanza eficaz de los sistemas, demostrar transparencia, mantener la rendición de cuentas y

comprometer activamente a las comunidades y partes interesadas que puedan verse afectadas por el uso de estas tecnologías. Los principios éticos fundamentales de beneficencia (actuar en el mejor interés del paciente) y no maleficencia (evitar el daño) deben servir como guías en el desarrollo y despliegue de la IA en la imagen médica fetal (33). Por último, la transparencia y fiabilidad de los sistemas utilizados en la obtención de imágenes médicas fetales son cruciales para generar confianza tanto entre los pacientes como entre los profesionales de la salud (36 - 38).

El panorama normativo que rige el uso de la IA en la imagen médica fetal es un área en evolución y de importancia crítica. Existe una necesidad de marcos normativos para garantizar la seguridad y la eficacia de los dispositivos médicos impulsados por IA en este campo especializado (39). El Grupo de Trabajo de IA de la Sociedad de Medicina Nuclear e Imagen Molecular ha destacado la importancia de definir claramente las funciones y responsabilidades de los desarrolladores, los profesionales médicos que utilizan estas herramientas y los organismos reguladores que supervisan su implementación (32 - 35).

CONCLUSIÓN

La EF asistida por IA ofrece una vía prometedora para mejorar la precisión en el cribado de CC fetales, especialmente en regiones donde el acceso a evaluadores experimentados es limitado. Los modelos presentan una buena capacidad para distinguir con precisión entre imágenes ecográficas normales y anormales indicativas de CC. Los sistemas, entrenados con datos de imágenes etiquetadas, pueden ayudar a identificar estructuras anatómicas críticas, medir con exactitud la anatomía fetal y detectar signos sutiles de anomalías con notable precisión.

Además, la IA puede desempeñar un papel crucial en la

**ECOCARDIOGRAFÍA FETAL ASISTIDA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EN LA DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE CARDIOPATÍAS CONGÉNITAS FETALES**

reducción de las deficiencias en la experiencia diagnóstica, automatizando el proceso de detección, facilitando la obtención de planos de imagen estandarizados e identificando con precisión las estructuras cardíacas clave. Asimismo, puede automatizar la identificación de planos cardíacos estándar, que son esenciales para el diagnóstico, y proporcionar valiosa asistencia a los médicos en el reconocimiento de CC.

Sin conflicto de interés.

REFERENCIAS

1. Carrasquero MN. Biometría cardíaca fetal por ecocardiograma modo M. Rev Obstet Ginecol Venez [Internet]. 2002 [consultado mayo 2025];62(4):235-242. Disponible en https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0048-77322002000400003.
2. Ortega R, Clarembaux J, Guevara F, Muñoz C, Ortega JP, Rostro F. Ecocardiografía fetal: cardiopatías congénitas y otras alteraciones circulatorias en fetos de alto riesgo 1986-1997. Rev Obstet Ginecol Venez [Internet]. 1998 [consultado mayo 2025];58(4):241-249. Disponible en https://www.sogvzla.org/wp-content/uploads/2023/03/1998_vol68_num4_4.pdf
3. Patel SR, Madan N, Jone PN, Donofrio MT. Utility of Fetal Echocardiography with Acute Maternal Hyperoxygenation Testing in Assessment of Complex Congenital Heart Defects. Children (Basel). 2023;10(2):281. DOI: 10.3390/children10020281.
4. Ghaderian M, Hemmat M, Behdad S, Saeedi M, Shahsanaei F. Fetal Cardiac Functional Abnormalities Assessed by Echocardiography in Mothers Suffering Gestational Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-analysis. Curr Probl Cardiol. 2021;46(3):100658. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2020.100658.
5. Klein J, Donofrio MT. Fetal Echocardiography for the General Pediatrician. Pediatr Ann. 2021;50(3):e121-e127. DOI: 10.3928/19382359-20210217-03.
6. Zhang J, Xiao S, Zhu Y, Zhang Z, Cao H, Xie M, et al. Advances in the application of artificial intelligence in fetal echocardiography. J Am Soc Echocardiogr. 2024;37(5):550-561. DOI: 10.1016/j.echo.2023.12.013.
7. Wang A, Doan TT, Reddy C, Jone PN. Artificial intelligence in fetal and pediatric echocardiography. Children (Basel).
8. Riva A, Guerra M, Di Gangi S, Veronese P, Vida V. Artificial intelligence for the prenatal ultrasound diagnosis of congenital heart disease: A narrative review. Clin Exp Obstet Gynecol. 2024;51(11):244. DOI: 10.31083/j.ceog5111244.
9. Ma M, Sun LH, Chen R, Zhu J, Zhao B. Artificial intelligence in fetal echocardiography: Recent advances and future prospects. Int J Cardiol Heart Vasc. 2024;53:101380. DOI: 10.1016/j.ijcha.2024.101380.
10. Liastuti LD, Nursakina Y. Diagnostic accuracy of artificial intelligence models in detecting congenital heart disease in the second-trimester fetus through prenatal cardiac screening: a systematic review and meta-analysis. Front Cardiovasc Med. 2025;12:1473544. DOI: 10.3389/fcvm.2025.1473544.
11. Reddy CD, Van den Eynde J, Kutty S. Artificial intelligence in perinatal diagnosis and management of congenital heart disease. Semin Perinatol. 2022;46(4):151588. DOI: 10.1016/j.semperi.2022.151588.
12. Miskeen E, Alfaifi J, Alhuian DM, Alghamdi M, Alharthi MH, Alshahrani NA, et al. Prospective applications of artificial intelligence in fetal medicine: A scoping review of recent updates. Int J Gen Med. 2025;18:237-245. DOI: 10.2147/IJGM.S490261.
13. Jone PN, Gearhart A, Lei H, Xing F, Nahar J, Lopez-Jimenez F, et al. Artificial intelligence in congenital heart disease: Current state and prospects. JACC Adv. 2022;1(5):100153. DOI: 10.1016/j.jacadv.2022.100153.
14. Kim R, Lee MY, Lee YJ, Won HS, Park J, Lee J, et al. Artificial intelligence based automatic classification, annotation, and measurement of the fetal heart using HeartAssist. Sci Rep. 2025;15(1):13055. DOI: 10.1038/s41598-025-97934-z.
15. Nurmaini S, Rachmatullah MN, Sapitri AI, Darmawahyuni A, Tutuko B, Firdaus F, et al. Deep learning-based computer-aided fetal echocardiography: Application to heart standard view segmentation for congenital heart defects detection. Sensors (Basel). 2021;21(23):8007. DOI: 10.3390/s21238007.
16. de Vries IR, van Laar JO, van der Hout-van der Jagt MB, Clur SB, Vullings R. Fetal electrocardiography and artificial intelligence for prenatal detection of congenital heart disease. Acta Obstet Gynecol Scand. 2023;102(11):1511-1520. DOI: 10.1111/aogs.14623.
17. Xu L, Liu M, Shen Z, Wang H, Liu X, Wang X, et al. DW-Net: A cascaded convolutional neural network for apical four-chamber view segmentation in fetal echocardiography. Comput Med Imaging Graph. 2020;80:101690. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2019.101690.

18. Taksoee-Vester CA, Mikolaj K, Bashir Z, Christensen AN, Petersen OB, Sundberg K, *et al.* AI supported fetal echocardiography with quality assessment. *Sci Rep.* 2024;14(1):5809. DOI: 10.1038/s41598-024-56476-6.
19. Ungureanu A, Marcu AS, Patru CL, Ruican D, Nagy R, Stoican R, *et al.* Learning deep architectures for the interpretation of first-trimester fetal echocardiography (LIFE) - a study protocol for developing an automated intelligent decision support system for early fetal echocardiography. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2023;23(1):20. DOI: 10.1186/s12884-022-05204-x.
20. Mohsin SN, Gapizov A, Ekhator C, Ain NU, Ahmad S, Khan M, *et al.* The role of artificial intelligence in prediction, risk stratification, and personalized treatment planning for congenital heart diseases. *Cureus.* 2023;15(8):e44374. DOI: 10.7759/cureus.44374.
21. Zimmerman RM, Hernandez EJ, Yandell M, Tristani-Firouzi M, Silver RM, Grobman W, *et al.* AI-based analysis of fetal growth restriction in a prospective obstetric cohort quantifies compound risks for perinatal morbidity and mortality and identifies previously unrecognized high risk clinical scenarios. *BMC Pregnancy and Childbirth.* 2025;25(80). DOI: 10.1186/s12884-024-07095-6.
22. Shaikh MFW, Mama MS, Proddaturi SH, Vidal J, Gnanasekaran P, Kumar MS, *et al.* The role of artificial intelligence in the prediction, diagnosis, and management of cardiovascular diseases: A narrative review. *Cureus.* 2025;17(3):e81332. DOI: 10.7759/cureus.81332.
23. van Hagen IM, Roos-Hesselink JW. Pregnancy in congenital heart disease: risk prediction and counselling. *Heart.* 2020;106(23):1853-1861. DOI: 10.1136/heartjnl-2019-314702.
24. Reza-Soltani S, Fakhare Alam L, Debellotte O, Monga TS, Coyalkar VR, Tarnate VCA, *et al.* The Role of artificial intelligence and machine learning in cardiovascular imaging and diagnosis. *Cureus.* 2024;16(9):e68472. DOI: 10.7759/cureus.68472.
25. Andonotopo W, Bachnas MA, Akbar MIA, Aziz MA, Dewantiningrum J, Pramono MBA, *et al.* Fetal origins of adult disease: transforming prenatal care by integrating Barker's Hypothesis with AI-driven 4D ultrasound. *J Perinat Med.* 2025;53(4):418-438. DOI: 10.1515/jpm-2024-0617.
26. Francis F, Luz S, Wu H, Stock SJ, Townsend R. Machine learning on cardiotocography data to classify fetal outcomes: A scoping review. *Comput Biol Med.* 2024;172:108220. DOI: 10.1016/j.combiomed.2024.108220.
27. Patel DJ, Chaudhari K, Acharya N, Shrivastava D, Muneeba S. Artificial intelligence in obstetrics and gynecology: Transforming care and outcomes. *Cureus.* 2024;16(7):e64725. DOI: 10.7759/cureus.64725.
28. Ganiyu S, Garcia J, Ali K, Bello F. Role of artificial intelligence in echocardiography: A systematic review. *JCDR.* 2024;15(7):777-810. DOI: 10.48047/jcdr.2024.15.07.72.
29. O'Sullivan ME, Considine EC, O'Riordan M, Marnane WP, Rennie JM, Boylan GB. Challenges of developing robust AI for intrapartum fetal heart rate monitoring. *Front Artif Intell.* 2021;4:765210. DOI: 10.3389/frai.2021.765210.
30. Athalye C, van Nisselrooij A, Rizvi S, Haak MC, Moon-Grady AJ, Arnaout R. Deep-learning model for prenatal congenital heart disease screening generalizes to community setting and outperforms clinical detection. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2024;63(1):44-52. DOI: 10.1002/uog.27503.
31. Briller JE, Jayaram A. Can artificial intelligence make maternal cardiac risk prediction a walk in the park? *JACC Adv.* 2024;3(8):101100. DOI: 10.1016/j.jacadv.2024.101100.
32. Naik N, Hameed BMZ, Shetty DK, Swain D, Shah M, Paul R, *et al.* Legal and ethical consideration in artificial intelligence in healthcare: Who takes responsibility? *Front Surg.* 2022;9:862322. DOI: 10.3389/fsurg.2022.862322.
33. Brady AP, Allen B, Chong J, Kotter E, Kottler N, Mongan J, *et al.* Developing, purchasing, implementing and monitoring AI tools in radiology: Practical considerations. A multi-society statement from the ACR, CAR, ESR, RANZCR & RSNA. *Can Assoc Radiol J.* 2024;75(2):226-244. DOI: 10.1177/08465371231222229.
34. Bekbolatova M, Mayer J, Ong CW, Toma M. Transformative potential of AI in healthcare: Definitions, applications, and navigating the ethical landscape and public perspectives. *Healthcare (Basel).* 2024;12(2):125. DOI: 10.3390/healthcare12020125.
35. Herington J, McCradden MD, Creel K, Boellaard R, Jones EC, Jha AK, *et al.* Ethical considerations for artificial intelligence in medical imaging: Deployment and governance. *J Nucl Med.* 2023;64(10):1509-1515. DOI: 10.2967/jnumed.123.266110.
36. Cabral BP, Braga LAM, Conte Filho CG, Penteado B, Freire de Castro Silva SL, Castro L, *et al.* Future use of AI in diagnostic medicine: 2-wave cross-sectional survey study. *J Med Internet Res.* 2025;27:e53892. DOI: 10.2196/53892.
37. Shang Z, Chauhan V, Devi K, Patil S. Artificial intelligence, the digital surgeon: Unravelling its emerging footprint in healthcare - The narrative review. *J Multidiscip Healthc.* 2024;17:4011-4022. DOI: 10.2147/JMDH.S482757.

*ECOCARDIOGRAFÍA FETAL ASISTIDA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EN LA DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE CARDIOPATÍAS CONGÉNITAS FETALES*

38. Shiwlani A, Umar M, Saeed F, Dharejo N, Ahmad A, Tahir A. Prediction of fetal brain and heart abnormalities using artificial intelligence algorithms: A review. *Am J Biomed Sci Res.* 2024;22(3):557-579. DOI:10.34297/AJBSR.2024.22.002970.
39. Kohli M, Geis R. Ethics, artificial intelligence, and radiology. *J Am Coll Radiol.* 2018;15(9):1317-1319. DOI: 10.1016/j.jacr.2018.05.020.

Recibido 1 de junio de 2025
Aprobado para publicación 18 de agosto de 2025