

Doppler de la arteria pulmonar fetal y QuantusFLM en la evaluación de la madurez pulmonar: Revisión sistemática

Fetal Pulmonary Artery Doppler and QuantusFLM for the Assessment of Fetal Lung Maturity: A Systematic Review

Diego Fernando Vega-Cuadrado^{1,a}, Erika Paola Delgado-Astudillo^{1,a}, Carem Francelys Prieto-Fuenmayor^{1,b}

¹ Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

^a Médico, Posgradista de Ginecología y Obstetricia.

^b Docente Universitario, Doctora en Ciencias de la Salud.

Información del artículo

Citar como: Vega-Cuadrado DF, Delgado-Astudillo EP, Prieto-Fuenmayor CF. Doppler de la arteria pulmonar fetal y QuantusFLM en la evaluación de la madurez pulmonar: Revisión sistemática. Health Care & Global Health.2026;10(3):218-230.

DOI: 10.22258/hgh.v10i3.438

Autor de Correspondencia

Diego Fernando Vega Cuadrado
Dirección: Cuenca, Ecuador.
Email: diegofv19@hotmail.com
Teléfono: 0984821658

Historial del artículo

Recibido : 12 de mayo de 2026
Primera decisión editorial: 20 de mayo de 2026
Versión revisada recibida: 27 de agosto de 2026
Aceptado: 31 de agosto de 2026
Publicado en línea: 15 de septiembre de 2026

Proceso de revisión

Tipo de revisión: revisión por pares doble ciego
Número de revisores externos: 2
Rondas de revisión: 1

Resumen

Objetivo: Evaluar la evidencia disponible sobre el rendimiento diagnóstico del índice Doppler de la arteria pulmonar fetal, particularmente la relación tiempo de aceleración/tiempo de eyección (TA/TE), en comparación con QuantusFLM®, para la estimación de la madurez pulmonar fetal y la predicción de morbilidad respiratoria neonatal. **Metodología:** Se realizó una revisión sistemática de estudios observacionales publicados entre 2019 y 2025 en bases de datos electrónicas internacionales MEDLINE/PubMed y Scopus. Se incluyeron estudios que evaluaron métodos ecográficos no invasivos de madurez pulmonar fetal y reportaron desenlaces respiratorios neonatales. El proceso de selección se efectuó mediante la plataforma Rayyan, y la evaluación del riesgo de sesgo se realizó utilizando las Study Quality Assessment Tools del National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI). Debido a la heterogeneidad clínica y metodológica de los estudios incluidos, no se realizó metaanálisis; los resultados fueron integrados mediante una síntesis cualitativa y narrativa, comparando las características de las pruebas diagnósticas, los parámetros evaluados y su desempeño para predecir madurez pulmonar y morbilidad respiratoria neonatal. **Resultados:** Se incluyeron 14 estudios observacionales con tamaños muestrales entre 40 y 790 gestaciones. Los índices Doppler de la arteria pulmonar fetal mostraron una asociación consistente con el desarrollo de síndrome de dificultad respiratoria neonatal, destacando la relación TA/TE con sensibilidades entre 71,4 % y 94,8 % y especificidades entre 79,7 % y 96,2 %. QuantusFLM® demostró alta capacidad diagnóstica, especialmente por su elevado valor predictivo negativo, superior al 89 % en la mayoría de los estudios. Métodos emergentes, como la evaluación de la microvasculatura pulmonar fetal mediante MV-Flow Doppler, mostraron resultados prometedores. La mayoría de los estudios presentó un riesgo de sesgo moderado. **Conclusión:** Los métodos ecográficos no invasivos, particularmente QuantusFLM® y los índices Doppler de la arteria pulmonar fetal, muestran utilidad clínica para la estimación de la madurez pulmonar fetal y la predicción de morbilidad respiratoria neonatal, con potencial para complementar los criterios tradicionales basados en edad gestacional.

Palabras clave: Madurez de los Órganos Fetales; Arteria Pulmonar; Ultrasonografía Doppler (Fuente: DeCS, BIREME).

Abstract

Objective: To evaluate the available evidence on the diagnostic performance of the fetal pulmonary artery Doppler index, particularly the acceleration-to-ejection time (AT/ET) ratio, compared to QuantusFLM®, for estimating fetal lung maturity and predicting neonatal respiratory morbidity. **Methodology:** A systematic review of observational studies published between 2019 and 2025 was conducted using the international electronic databases MEDLINE/PubMed and Scopus. Studies evaluating non-invasive ultrasound-based methods for assessing fetal lung maturity and reporting neonatal respiratory outcomes were included. Study selection was performed using the Rayyan platform, and risk of bias was assessed using the National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI) Study Quality Assessment Tools. Due to the clinical and methodological heterogeneity of the included studies, a meta-analysis was not performed. Instead, findings were integrated through a qualitative and narrative synthesis comparing the characteristics of the diagnostic tests, the parameters assessed, and their performance in predicting fetal lung maturity and neonatal respiratory morbidity. **Results:** Fourteen observational studies with sample sizes ranging from 40 to 790 pregnancies were included. Fetal pulmonary artery Doppler indices showed a consistent association with the development of neonatal respiratory distress syndrome, with the TA/TE ratio being particularly noteworthy, exhibiting sensitivities between 71.4% and 94.8% and specificities between 79.7% and 96.2%. QuantusFLM® demonstrated high diagnostic accuracy, especially due to its high negative predictive value, exceeding 89% in most studies. Emerging methods, such as fetal pulmonary microvasculature assessment using MV-Flow Doppler, showed promising results. Most studies presented a moderate risk of bias. **Conclusion:** Non-invasive ultrasound methods, particularly QuantusFLM® and fetal pulmonary artery Doppler indices, show clinical utility for estimating fetal lung maturity and predicting neonatal respiratory morbidity, with the potential to complement traditional criteria based on gestational age.

Keywords: Fetal Organ Maturity; Pulmonary Artery; Ultrasonography, Doppler (Source: MeSH, NLM).



Introducción

La maduración pulmonar fetal es un determinante esencial de la transición exitosa del feto a la vida extrauterina, al permitir el establecimiento eficaz de la respiración espontánea tras el nacimiento ^[1]. El desarrollo pulmonar insuficiente se asocia con un aumento significativo de complicaciones respiratorias neonatales, particularmente el síndrome de dificultad respiratoria, que representa una causa importante de morbilidad, ingreso a unidad de cuidados intensivos neonatales y prolongación de la estancia hospitalaria ^{[2] [3]}. Este fenómeno no depende exclusivamente de la edad gestacional cronológica, sino de la adquisición funcional del pulmón fetal, condicionada por la producción de surfactante y por cambios estructurales y hemodinámicos progresivos del sistema respiratorio ^[4].

Durante décadas, la evaluación de la madurez pulmonar se ha sustentado en pruebas bioquímicas obtenidas a partir del líquido amniótico mediante procedimientos invasivos, como la determinación de la relación lecitina-esfingomielina o el recuento de cuerpos lamelares ^{[5] [6]}. Si bien estos métodos han demostrado utilidad diagnóstica, su aplicación clínica se ve limitada por los riesgos inherentes a la amniocentesis, la necesidad de infraestructura especializada y su escasa disponibilidad en muchos entornos ^[7]. En consecuencia, el desarrollo de herramientas no invasivas que permitan estimar la madurez pulmonar fetal de manera confiable se ha convertido en un objetivo prioritario en la medicina materno-fetal contemporánea.

En este contexto, la velocimetría Doppler de la arteria pulmonar fetal ha emergido como una alternativa prometedora para la evaluación indirecta de la madurez pulmonar. Parámetros como el índice de pulsatilidad, el índice de resistencia y, de manera particular, la relación entre el tiempo de aceleración y el tiempo de eyección del flujo pulmonar, reflejan la disminución progresiva de la resistencia vascular pulmonar conforme avanza la gestación ^{[8][9]}. Diversos estudios han demostrado que estos cambios hemodinámicos se correlacionan con la funcionalidad pulmonar posnatal, lo que ha posicionado a los índices Doppler pulmonares como posibles predictores no invasivos del riesgo de morbilidad respiratoria neonatal ^[10].

De forma paralela, los avances en el procesamiento digital de imágenes han permitido el desarrollo de técnicas basadas en el análisis cuantitativo de la textura ecográfica del pulmón fetal. Entre estas, Quantus Fetal Lung Maturity (QuantusFLM) utiliza algoritmos automatizados para evaluar patrones de textura del parénquima pulmonar obtenidos mediante ecografía bidimensional estándar, generando una estimación objetiva del riesgo de

inmadurez pulmonar y de complicaciones respiratorias neonatales ^{[11][12]}. Esta tecnología ha mostrado resultados comparables a los métodos tradicionales invasivos, con la ventaja adicional de ser reproducible, no dependiente del operador y exenta de riesgos materno-fetales ^{[13][14]}.

La evaluación de estas herramientas adquiere especial relevancia en los embarazos comprendidos entre 36 y 37 semanas de gestación, periodo en el cual la maduración pulmonar puede ser heterogénea y en el que las decisiones obstétricas dependen de una adecuada estimación de la capacidad respiratoria fetal. A pesar de la creciente evidencia que respalda tanto el uso del Doppler de la arteria pulmonar como el análisis cuantitativo mediante QuantusFLM, persiste incertidumbre respecto a su desempeño comparativo y aplicabilidad clínica específica en este rango gestacional.

Además, la identificación precisa de la madurez pulmonar fetal en edades gestacionales tardías posee importantes implicaciones clínicas, debido a que puede contribuir a evitar intervenciones obstétricas innecesarias, como la administración empírica de corticosteroides antenatales, la prolongación injustificada del embarazo o la realización de procedimientos invasivos en fetos con adecuada capacidad respiratoria ^{[15][16][17]}. En este contexto, los métodos no invasivos basados en ultrasonografía han adquirido creciente relevancia, especialmente en gestaciones cercanas al término, donde la edad gestacional por sí sola no siempre refleja el verdadero grado de maduración pulmonar fetal. Diversas investigaciones recientes han demostrado que tanto la velocimetría Doppler de la arteria pulmonar fetal como el análisis automatizado de textura pulmonar permiten estimar el riesgo de morbilidad respiratoria neonatal con adecuada sensibilidad y especificidad, favoreciendo una toma de decisiones más individualizada y potencialmente más segura para el binomio materno-fetal ^[18].

Sin embargo, pese a los resultados alentadores reportados en los últimos años, la evidencia disponible continúa mostrando una considerable heterogeneidad metodológica relacionada con los puntos de corte utilizados, los parámetros Doppler evaluados, la definición de morbilidad respiratoria neonatal y las poblaciones incluidas en cada estudio ^[19]. Asimismo, algunas investigaciones han señalado variaciones en el rendimiento diagnóstico de estas herramientas según la edad gestacional, las comorbilidades maternas y la calidad de adquisición de las imágenes ecográficas, lo que ha limitado su incorporación sistemática en las guías clínicas internacionales ^{[20][21]}. Por ello, resulta necesario sintetizar críticamente la evidencia científica reciente acerca del desempeño del Doppler de la arteria pulmonar fetal y de QuantusFLM, particularmente en el intervalo de 36 a 37 semanas de gestación, periodo en el que la predicción del riesgo respiratorio neonatal puede

modificar de manera significativa la conducta obstétrica y los resultados perinatales.

Por lo tanto, la presente revisión sistemática tiene como objetivo evaluar la evidencia disponible sobre el rendimiento diagnóstico de los índices Doppler de la arteria pulmonar fetal, particularmente la relación tiempo de aceleración/tiempo de eyección (TA/TE), en comparación con QuantusFLM®, para la estimación de la madurez pulmonar fetal y la predicción de morbilidad respiratoria neonatal.

Metodología

Diseño del estudio

Revisión sistemática de la literatura con base en los lineamientos PRISMA 2020.

Registro

El protocolo de la revisión sistemática fue registrado en PROSPERO (*International Prospective Register of Systematic Reviews*) bajo el número de registro CRD420251051377.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos biomédicas MEDLINE (vía PubMed), y Scopus incluyendo estudios publicados en idioma inglés y español, desde el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2025. El periodo de búsqueda se delimitó con el propósito de identificar y sintetizar la evidencia contemporánea sobre métodos ecográficos no invasivos para la evaluación de la madurez pulmonar fetal y la predicción de morbilidad respiratoria neonatal.

Se consideraron los estudios que cumplieron los criterios de elegibilidad establecidos y cuyo texto completo pudo ser recuperado mediante las fuentes bibliográficas, suscripciones institucionales y repositorios disponibles para los investigadores. La disponibilidad en acceso abierto no se estableció como criterio de inclusión o exclusión. La búsqueda se complementó mediante la revisión de las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados con el propósito de identificar estudios potencialmente elegibles no recuperados durante la búsqueda electrónica inicial.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron estudios observacionales, tanto estudios de cohortes y de casos y controles, así como ensayos clínicos que evaluaron la madurez pulmonar fetal mediante parámetros Doppler de la arteria pulmonar fetal —índice de pulsatilidad, tiempo de aceleración, tiempo de eyección y relación tiempo de aceleración/tiempo de eyección (TA/TE)— y/o mediante Quantus Fetal Lung Maturity (QuantusFLM®), en gestaciones únicas mayores de 24 semanas y sin malformaciones fetales mayores.

Como desenlaces de interés se consideraron la relación entre los parámetros ecográficos evaluados y la madurez pulmonar fetal, así como su asociación con resultados respiratorios neonatales, entre ellos síndrome de dificultad respiratoria, necesidad de soporte ventilatorio e ingreso a la unidad de cuidados intensivos neonatales. Cuando los estudios reportaron medidas de rendimiento diagnóstico, como sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo o valor predictivo negativo, estas fueron extraídas como resultados adicionales para la síntesis cualitativa.

Se excluyeron revisiones narrativas, editoriales, cartas al editor y resúmenes de congresos, además de estudios realizados en embarazos múltiples, fetos con malformaciones pulmonares o cardíacas congénitas y aquellos que evaluaron la madurez pulmonar exclusivamente mediante métodos invasivos o determinaciones bioquímicas del líquido amniótico.

Proceso de selección de estudios

La selección de los estudios se llevó a cabo en dos fases. En una primera etapa, dos revisores independientes evaluaron los títulos y resúmenes de los registros identificados para determinar su elegibilidad preliminar. Posteriormente, los artículos potencialmente relevantes fueron revisados en texto completo para confirmar su inclusión de acuerdo con los criterios previamente establecidos.

Las discrepancias entre los revisores se resolvieron mediante consenso y, en caso necesario, con la intervención de un tercer revisor. El proceso de selección de estudios se documentó mediante un diagrama de flujo PRISMA, detallando el número de registros identificados, excluidos y finalmente incluidos en la revisión (**Figura 1**).

Para el proceso de cribado y selección de estudios se utilizó la plataforma Rayyan®, la cual facilitó la revisión independiente de títulos y resúmenes por parte de los revisores, así como la identificación de duplicados y la resolución de discrepancias [22].

Extracción y manejo de datos

La extracción de datos se realizó utilizando un formulario previamente diseñado, el cual incluyó información sobre características del estudio, características de la población, descripción de los métodos diagnósticos evaluados (índice de pulsatilidad de la arteria pulmonar fetal, parámetros Doppler asociados y/o QuantusFLM) y desenlaces neonatales respiratorios.

Evaluación del riesgo de sesgo y calidad metodológica

Para valorar el riesgo de sesgos, se empleó la herramienta Study Quality Assessment Tools del National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI), aplicando las listas de verificación correspondientes al diseño de cada estudio [23]. Los resultados se sintetizaron mediante un sistema visual tipo semáforo, donde el color verde indica estudios con bajo riesgo de sesgo ("Bueno"), caracterizados

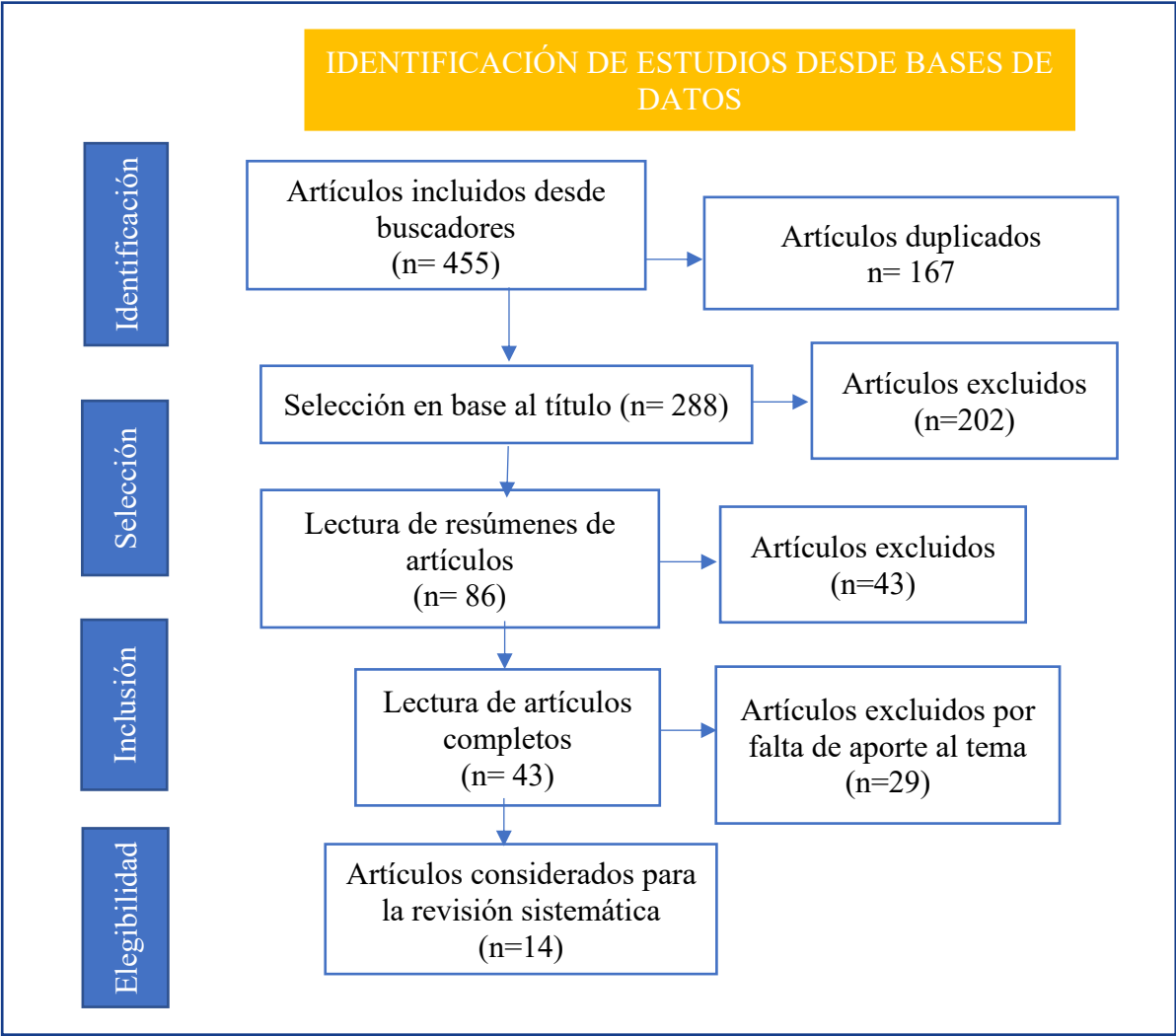


Figura 1. Proceso de selección de artículos.

por adecuada aleatorización, control de confusores y claridad metodológica; el color amarillo corresponde a estudios con riesgo moderado (“Regular”), usualmente debido a diseños pre-post, métodos observacionales o falta de cegamiento; y el color rojo identifica estudios con alto riesgo de sesgo (“Pobre”), en los que existen limitaciones importantes como ausencia de control, sesgo de selección significativo o fuentes no abordadas de confusión. Esta clasificación permitió estandarizar la valoración metodológica y asegurar que la síntesis de resultados considere la calidad interna de cada estudio. Los resultados del análisis se presentan en la [Tabla 1](#).

En la presente revisión sistemática no se realizó la evaluación de la certeza global de la evidencia mediante el enfoque GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation). Esta decisión se fundamentó en que los estudios incluidos correspondieron predominantemente a diseños observacionales con heterogeneidad metodológica

significativa en cuanto a población, puntos de corte diagnósticos y desenlaces respiratorios neonatales, lo que limitó la posibilidad de realizar una síntesis cuantitativa formal o una comparación estructurada de la magnitud del efecto.

Resultados

La búsqueda bibliográfica identificó 455 registros potencialmente relevantes. Después de eliminar 167 registros duplicados, se evaluaron 288 registros mediante título. En esta etapa se excluyeron 202, por lo que 86 artículos continuaron a la evaluación de sus resúmenes. Tras esta revisión, se excluyeron 43 registros y 43 artículos fueron evaluados mediante lectura de texto completo. De estos, 29 fueron excluidos por no cumplir con los criterios de elegibilidad o por falta de pertinencia con el tema de investigación. Finalmente, 14 estudios fueron incluidos en la síntesis cualitativa de la revisión

Tabla 1. Riesgo de sesgo de los estudios según el NHLBI.

Autor / Año	Tipo de estudio	Riesgo de sesgo (NHLBI)
Abdelhamid <i>et al.</i> , 2020	Estudio prospectivo observacional	Moderado
Abbas & Mayallo, 2024	Estudio prospectivo observacional	Moderado
Hassan <i>et al.</i> , 2023	Estudio prospectivo observacional	Moderado
Essameldin <i>et al.</i> , 2021	Estudio prospectivo observacional	Bajo
Alkashty <i>et al.</i> , 2021	Estudio prospectivo observacional	Moderado
Tanta <i>et al.</i> , 2023	Estudio prospectivo observacional	Moderado
Mendoza <i>et al.</i> , 2024	Estudio prospectivo observacional	Bajo
Tang <i>et al.</i> , 2020	Estudio observacional transversal	Moderado
Burgos <i>et al.</i> , 2019	Estudio prospectivo observacional	Bajo
Zamarian <i>et al.</i> , 2022	Estudio de cohorte	Moderado
Flosi <i>et al.</i> , 2020	Estudio prospectivo observacional	Moderado
Caetano <i>et al.</i> , 2023	Estudio observacional prospectivo	Moderado
López Sánchez <i>et al.</i> , 2019	Estudio prospectivo observacional	Moderado
Wang <i>et al.</i> , 2025	Estudio prospectivo observacional	Moderado

sistemática. El proceso completo de identificación, selección, elegibilidad e inclusión se presenta en la **Figura 1**.

La presente revisión sistemática incluyó un total de 14 estudios observacionales publicados entre 2019 y 2025, que evaluaron métodos ecográficos no invasivos para la estimación de la madurez pulmonar fetal y la predicción de morbilidad respiratoria neonatal, principalmente el síndrome de dificultad respiratoria neonatal (SDRN). No se identificaron ensayos clínicos que cumplieran los criterios de elegibilidad establecidos. Los tamaños muestrales oscilaron entre 40 y 790 gestaciones, abarcando tanto poblaciones obstétricas de bajo riesgo como subgrupos clínicos específicos, entre ellos diabetes materna, preeclampsia severa, restricción del crecimiento fetal y ruptura prematura de membranas.

Características generales de los métodos evaluados
Los estudios analizados se presentan en la **Tabla 2**, y emplearon tres enfoques diagnósticos principales:

- **Índices Doppler de la arteria pulmonar fetal:** con énfasis en la relación tiempo de aceleración/tiempo de eyección (TA/TE), así como en el índice de pulsatilidad (PI), índice de resistencia (RI), velocidad sistólica máxima (PSV) y relación sístole/diástole (S/D) ^[24].

- **Análisis cuantitativo automatizado de la textura pulmonar fetal mediante QuantusFLM®** ^[25].
- **Técnicas ecográficas emergentes:** evaluación de la microvasculatura pulmonar fetal mediante detección de flujos sanguíneos de muy baja velocidad en vasos de pequeño calibre (MV-Flow Doppler), y métodos combinados que integran ultrasonido bidimensional y tridimensional ^[26].

Resultados de los estudios basados en Doppler de la arteria pulmonar fetal

La evidencia mostró de manera consistente que los índices Doppler de la arteria pulmonar fetal se asocian significativamente con la aparición de SDRN. Los fetos que desarrollaron morbilidad respiratoria neonatal presentaron valores disminuidos de TA/TE y PSV, junto con valores elevados de PI y RI, en comparación con aquellos sin compromiso respiratorio.

En múltiples estudios, el índice TA/TE demostró una elevada capacidad predictiva, con puntos de corte cercanos a 0,30, alcanzando sensibilidades entre 71,4 % y 94,8 % y especificidades entre 79,7 % y 96,2 %. Asimismo, algunos trabajos reportaron un desempeño diagnóstico destacado del índice de resistencia, que en determinadas cohortes alcanzó valores de sensibilidad y especificidad cercanos al 100 %. Estos hallazgos fueron reproducibles tanto en poblaciones generales como en subgrupos de alto riesgo, lo que respalda la utilidad del Doppler pulmonar como marcador funcional no invasivo de madurez pulmonar fetal ^{[27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34]}.

Resultados de los estudios que emplearon QuantusFLM

Los estudios que evaluaron el análisis cuantitativo de textura pulmonar fetal mediante QuantusFLM® demostraron un alto rendimiento diagnóstico para la predicción de madurez pulmonar y morbilidad respiratoria neonatal. Las sensibilidades reportadas oscilaron entre 60 % y 97,2 %, mientras que las especificidades variaron entre 33,3 % y 94,7 %. De forma consistente, QuantusFLM® presentó un valor predictivo negativo elevado, frecuentemente superior al 89 %, lo que indica una elevada capacidad para descartar inmadurez pulmonar funcional.

Aunque la mayoría de los estudios no incluyó una evaluación comparativa directa entre ambas técnicas diagnósticas, la comparación indirecta es metodológicamente razonable, ya que los estudios comparten desenlaces clínicos homogéneos y criterios diagnósticos similares de morbilidad respiratoria neonatal ^{[35] [36] [37] [38] [39]}.

Estudios comparativos y métodos ecográficos emergentes

Un estudio comparativo directo entre TA/TE Doppler y QuantusFLM® evidenció que ambos métodos poseen

Tabla 2. Resultados de la revisión sistemática.

Autor / Año	N	Intervención	Resultado y conclusiones
Abdelhamid <i>et al.</i> , 2020 ^[27]	40	Comparación entre el índice Doppler TA/TE de la arteria pulmonar fetal y el análisis cuantitativo de textura pulmonar mediante Quantus FLM® para la predicción de síndrome de dificultad respiratoria neonatal en gestaciones entre 28 y 40 semanas.	Ambos métodos demostraron capacidad para predecir morbilidad respiratoria neonatal. El índice TA/TE mostró una sensibilidad del 77,8 % y especificidad del 83,9 %, mientras que QuantusFLM® presentó mayor precisión diagnóstica, con sensibilidad cercana al 89 %, especificidad alrededor del 90 % y alto valor predictivo negativo. El estudio concluye que ambos métodos son útiles y no invasivos, con un desempeño global superior de QuantusFLM®, aunque potencialmente complementarios en la evaluación de la maduración pulmonar fetal.
Abbas & Mayallo, 2024 ^[28]	100	Estudio prospectivo que evaluó los índices Doppler de la arteria pulmonar fetal (incluyendo TA/ET, PSV, PI, RI y relación S/D) en gestantes en tercer trimestre, con el objetivo de predecir el desarrollo de síndrome de dificultad respiratoria neonatal.	Once neonatos (11 %) desarrollaron SDRN. Los neonatos con SDRN presentaron valores significativamente menores de TA/ET, PSV y S/D, y mayores valores de PI y RI en comparación con aquellos sin SDRN. En el análisis de corte diagnóstico, el índice de resistencia (RI) > 0,785 mostró sensibilidad 100 % y especificidad 100 % para la predicción de SDRN en este grupo. Los hallazgos sugieren que los parámetros Doppler de la arteria pulmonar fetal son predictores altamente sensibles y específicos de madurez pulmonar y de riesgo de SDRN neonatal, aunque los autores recomiendan la combinación de índices para optimizar la especificidad en diferentes edades gestacionales.
Hassan <i>et al.</i> , 2023 ^[29]	70	Evaluación de índices Doppler de la arteria pulmonar principal fetal (PI, RI, PSV y relación TA/TE) en embarazos de 34–38 semanas, correlacionándolos con el desarrollo de síndrome de dificultad respiratoria neonatal.	De los 70 fetos estudiados, 26 (37,1 %) desarrollaron SDRN. Los fetos con SDRN presentaron mayor índice de pulsatilidad (PI) y mayor índice de resistencia (RI), y menor relación tiempo de aceleración/tiempo de eyección (TA/TE) y menor velocidad sistólica máxima (PSV) comparado con los que no desarrollaron SDRN. Estas mediciones Doppler de la arteria pulmonar fetal predijeron significativamente la aparición de SDR neonatal, sugiriendo que los parámetros Doppler de la arteria pulmonar son útiles como marcadores no invasivos de madurez pulmonar fetal.
Essameldin <i>et al.</i> , 2021 ^[30]	143	Evaluó múltiples parámetros ecográficos prenatales en fetos entre 32 y 40 semanas: índices Doppler de la arteria pulmonar principal (PI, RI, TA/TE), fetal lung-to-liver intensity ratio (FLLIR) y fetal lung volume (FLV) obtenidos por ultrasonido 3D (VOCAL), con el objetivo de predecir el desarrollo de síndrome de dificultad respiratoria neonatal.	El 26,5 % de los neonatos desarrolló SDRN. Los fetos con SDRN presentaron TA/TE significativamente menor y PI/RI mayores. Un punto de corte TA/TE ≤ 0,30 mostró alta capacidad predictiva (sensibilidad 89,5 %, especificidad 96,2 %, VPN 96,2 %). Los neonatos con síndrome de dificultad respiratoria neonatal requirieron ingreso a UCI neonatal con mayor frecuencia y presentaron peores puntuaciones de Apgar. El TA/TE es un marcador no invasivo fiable de madurez pulmonar fetal, y su combinación con otros parámetros ecográficos mejora la predicción de resultados respiratorios neonatales.
Alkashty <i>et al.</i> , 2021 ^[31]	102	MPA Doppler TA/TE en preeclampsia severa.	Un corte de TA/TE 0,3 se asoció con sensibilidad 71,4 % y especificidad 79,7 % para síndrome de dificultad respiratoria neonatal, indicando utilidad del Doppler pulmonar para madurez pulmonar en este subgrupo.
Tanta <i>et al.</i> , 2023 ^[32]	50	TA/TE y RI Doppler de arteria pulmonar para predicción de RDS neonatal en gestaciones 34-39 SG.	TA/TE < 0,297 predijo RDS con sensibilidad 94,8 % y especificidad 83,5 %, y RI > 0,889 predijo RDS con sensibilidad 89,1 % y especificidad 78,2 %, apoyando la utilidad de Doppler pulmonar para madurez pulmonar.
Mendoza <i>et al.</i> , 2024 ^[33]	90	Evaluación de presión sistólica de arteria pulmonar fetal estimada por Doppler como marcador de madurez pulmonar fetal.	La presión de la arteria pulmonar fetal disminuye significativamente con la edad gestacional (p<0,001). Existe una asociación inversa significativa entre presión pulmonar fetal y madurez fetal (p<0,001). Un punto de corte de 55,9 mm Hg mostró sensibilidad 93,75 %, especificidad 80,77 %, VPP 92,31 % y VPN 84 % para diagnóstico de madurez pulmonar fetal. Concluye que la estimación de presión pulmonar fetal por Doppler es útil como indicador de madurez pulmonar fetal.

Tang <i>et al.</i> , 2020 ^[34]	208	Estudio descriptivo: medición ecográfica de parámetros de pulmón fetal y Doppler de arteria pulmonar (diámetros pulmonares y de arteria pulmonar; TA, TA, TA/TE) para establecer "parámetros normales" de crecimiento pulmonar.	Se observaron correlaciones positivas significativas entre edad gestacional y: diámetro de arteria pulmonar, tiempo de aceleración (TA) y relación TA/TE ($r = 0,948, 0,875, 0,810$; $p = 0,012$). No hubo correlación significativa del tiempo de eyección (TE) con edad gestacional. Los diámetros pulmonares y áreas pulmonares también se correlacionaron positivamente con la edad gestacional. Concluye que la ultrasonografía Doppler es útil para evaluar el crecimiento pulmonar fetal, lo cual puede apoyar la evaluación de madurez pulmonar fetal no invasiva.
Burgos <i>et al.</i> , 2019 ^[35]	790	QuantusFLM v3.0 con modelado automático para NRM.	De las 790 imágenes analizadas, QuantusFLM® predijo morbilidad respiratoria neonatal con una sensibilidad del 71,0 %, especificidad del 94,7 %, valor predictivo positivo del 67,9 %, valor predictivo negativo del 95,4 % y exactitud diagnóstica del 91,5 %. La precisión fue similar al análisis con delineación manual (90,3 %) y superior a la basada únicamente en edad gestacional (75,6 %), indicando que el enfoque automatizado de QuantusFLM® mejora la predicción no invasiva del riesgo de síndrome de dificultad respiratoria neonatal en comparación con criterios tradicionales. El modelo se asoció con resultados clínicos de morbilidad respiratoria neonatal (incluyendo SDRN y complicaciones respiratorias), mostrando alto valor predictivo negativo, lo que sugiere utilidad para descartar inmadurez pulmonar funcional en poblaciones fetales en edad de evaluación prenatal.
Zamarian <i>et al.</i> , 2022 ^[36]	110	QuantusFLM® en fetos con restricción de crecimiento.	Predicción de madurez pulmonar con sensibilidad 96,2%, especificidad 50%, VPN 98,1% para morbilidad respiratoria neonatal y evidencia de utilidad en restricción de crecimiento.
Flosi <i>et al.</i> , 2020 ^[37]	54	Evaluación de la maduración pulmonar fetal mediante análisis cuantitativo de textura ecográfica del pulmón fetal con QuantusFLM®, realizado dentro de las 48 horas previas al parto en gestaciones únicas con ruptura prematura de membranas entre 24 y 38+6 semanas.	La morbilidad respiratoria neonatal fue del 18,5 %. QuantusFLM® mostró sensibilidad del 60 %, especificidad del 79,5 %, valor predictivo positivo del 40 %, valor predictivo negativo del 89,7 % y exactitud del 75,9 % para predecir morbilidad respiratoria neonatal. El método demostró especial utilidad para confirmar la madurez pulmonar fetal (alto VPN), sin influencia significativa de la edad gestacional, índice de masa corporal materno u oligohidramnios.
Caetano <i>et al.</i> , 2023 ^[38]	111	Evaluación de QuantusFLM® para predecir madurez pulmonar fetal en gestaciones entre 34+0 y 38+6 semanas, en mujeres con y sin diabetes durante el embarazo.	QuantusFLM® predijo madurez pulmonar con alta exactitud (95,5 %), sensibilidad 97,2 %, especificidad 33,3 %, VPP 98,1 % y VPN 25 % para el total de pacientes; en el grupo diabético, la precisión fue 96,4 % con sensibilidad 96,4 % y VPP 100 %. Se concluye que QuantusFLM® es un método no invasivo preciso para estimar madurez pulmonar fetal y puede apoyar decisiones sobre el momento de la finalización del embarazo.
López Sánchez <i>et al.</i> , 2019 ^[39]	96	Evaluación de madurez pulmonar fetal mediante QuantusFLM® (análisis cuantitativo de textura ecográfica pulmonar) en diabetes gestacional controlada con dieta vs. insulina y controles.	QuantusFLM permitió identificar diferencias significativas en el riesgo estimado de inmadurez pulmonar. Sugiere mayor riesgo potencial de morbilidad respiratoria neonatal en embarazos con diabetes gestacional insulinodpendiente.
Wang <i>et al.</i> , 2025 ^[40]	42	Estudio de MV-Flow Doppler para medir vascularización pulmonar fetal y predecir riesgo de RDS.	Los fetos que desarrollaron síndrome de dificultad respiratoria neonatal presentaron valores significativamente menores de intensidad vascular del volumen microvascular (VI ⁴ MV) en comparación con aquellos sin compromiso respiratorio. El parámetro VI ⁴ MV demostró capacidad predictiva para SDRN, con una sensibilidad aproximada del 82 % y una especificidad cercana al 84 %. Estos hallazgos sugieren que la evaluación de la microvasculatura pulmonar fetal mediante MV-Flow Doppler constituye un biomarcador ecográfico no invasivo prometedor para la estimación de la madurez pulmonar fetal y la predicción de resultados respiratorios neonatales adversos.

una capacidad significativa para predecir morbilidad respiratoria neonatal; no obstante, QuantusFLM® mostró un desempeño diagnóstico global superior, con mayores valores de sensibilidad y especificidad. Los autores destacaron que ambos enfoques podrían ser complementarios, al evaluar distintos aspectos de la maduración pulmonar fetal.

Por otro lado, un estudio reciente que empleó MV-Flow Doppler demostró que los fetos que desarrollaron SDRN presentaron valores significativamente menores de la intensidad vascular del volumen microvascular (VI^ΔMV). Este parámetro mostró una sensibilidad aproximada del 82 % y una especificidad cercana al 84 %, lo que sugiere que la evaluación de la microvasculatura pulmonar fetal podría constituir un biomarcador ecográfico innovador para la predicción de resultados respiratorios neonatales adversos ^[40].

Evaluación del riesgo de sesgo

La evaluación metodológica realizada mediante las Study Quality Assessment Tools del National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI) mostró que la mayoría de los estudios incluidos presentaron un riesgo de sesgo moderado, principalmente debido a limitaciones inherentes al diseño observacional, ausencia de cegamiento y tamaños muestrales reducidos en algunas cohortes. Sin embargo, varios estudios, en particular aquellos con diseño prospectivo y mayor tamaño muestral, fueron clasificados como de bajo riesgo de sesgo.

En conjunto, la calidad metodológica de la evidencia disponible fue considerada adecuada para la síntesis de resultados, sin identificarse estudios con alto riesgo de sesgo, lo que respalda la consistencia interna de los hallazgos presentados.

Discusión

La presente revisión sistemática sintetiza la evidencia disponible sobre métodos ecográficos no invasivos para la evaluación de la madurez pulmonar fetal y la predicción de morbilidad respiratoria neonatal, particularmente el síndrome de dificultad respiratoria neonatal (SDRN). Los resultados muestran que tanto los índices Doppler de la arteria pulmonar fetal como el análisis cuantitativo de textura pulmonar mediante QuantusFLM® presentan un desempeño diagnóstico clínicamente relevante, con perfiles de utilidad diferenciados y potencialmente complementarios.

Relación con las guías clínicas actuales

Las principales guías clínicas internacionales, incluyendo las del American College of Obstetricians and

Gynecologists (ACOG), el Royal College of Obstetricians and Gynaecologists (RCOG) y la International Federation of Gynecology and Obstetrics (FIGO), coinciden en que la edad gestacional continúa siendo el principal criterio para decidir el momento del parto electivo. Sin embargo, estas guías reconocen que la edad gestacional por sí sola no garantiza la madurez pulmonar funcional, especialmente en contextos clínicos complejos como diabetes materna, restricción del crecimiento fetal, preeclampsia o indicaciones de interrupción del embarazo en el término tardío ^{[41] [42] [43]}.

En este escenario, los resultados de la presente revisión demuestran que los métodos ecográficos no invasivos pueden aportar información funcional adicional, por lo que es fundamental adoptar un enfoque individualizado en la toma de decisiones obstétricas cuando la finalización anticipada del embarazo está clínicamente indicada, valorando de manera integral el equilibrio entre los riesgos materno-fetales de prolongar la gestación y la probabilidad de morbilidad respiratoria neonatal.

Doppler de la arteria pulmonar fetal y su aplicabilidad clínica

Los estudios incluidos muestran de forma consistente que los índices Doppler de la arteria pulmonar fetal, en particular la relación TA/TE, se asocian significativamente con el desarrollo de SDRN. Los puntos de corte cercanos a 0,30 demostraron sensibilidades y especificidades elevadas, incluso en subgrupos de alto riesgo. Estos hallazgos respaldan la hipótesis fisiopatológica de que la disminución progresiva de la resistencia vascular pulmonar acompaña la maduración pulmonar fetal ^[44].

El Doppler pulmonar, al ser una técnica ampliamente disponible y de bajo costo, podría representar una herramienta complementaria en centros con recursos limitados, aunque las guías aún no lo incorporan de forma explícita debido a la heterogeneidad metodológica y a la ausencia de ensayos clínicos aleatorizados ^[45].

La utilidad clínica del Doppler de la arteria pulmonar fetal también radica en que sus mediciones pueden obtenerse durante la ecografía obstétrica convencional, sin recurrir a procedimientos invasivos ni a plataformas digitales externas. Estudios previos han descrito que parámetros como el tiempo de aceleración, el tiempo de eyección, la relación TA/TE, el índice de resistencia y el índice de pulsatilidad presentan cambios progresivos conforme avanza la gestación, lo que permite aproximarse de manera indirecta al proceso de maduración vascular pulmonar ^{[46] [47]}. No obstante, su interpretación debe realizarse con cautela, ya que la exactitud diagnóstica puede variar según la edad gestacional, la condición clínica materno-fetal, el sitio de medición dentro del árbol pulmonar y la experiencia del operador, por lo que aún se requieren protocolos estandarizados antes de

recomendar su uso rutinario como prueba definitiva de madurez pulmonar fetal ^[48] ^[49].

QuantusFLM® y el análisis cuantitativo de la textura pulmonar

Los estudios que evaluaron QuantusFLM® mostraron un rendimiento diagnóstico elevado, con especial énfasis en su alto valor predictivo negativo, lo que sugiere una utilidad clínica destacada para descartar inmadurez pulmonar funcional. Este aspecto es particularmente relevante a la luz de la evidencia disponible en la literatura científica, que ha señalado la importancia de evitar intervenciones potencialmente innecesarias, como la administración empírica de corticosteroides antenatales o la postergación injustificada del parto en gestaciones cercanas al término, cuando no existe una indicación clínica clara. Diversos estudios han demostrado que la exposición a corticosteroides en embarazos que finalmente culminan a término puede no conferir beneficios respiratorios significativos y, en algunos casos, asociarse a desenlaces adversos, lo que refuerza la necesidad de estrategias diagnósticas más precisas para estratificar el riesgo respiratorio neonatal ^[50] ^[51] ^[52].

Aunque QuantusFLM® no está actualmente incorporado en las guías ACOG, RCOG o FIGO, los resultados de esta revisión indican que su uso podría alinearse con los principios de medicina individualizada y toma de decisiones basada en riesgo, especialmente en situaciones en las que la edad gestacional no refleja adecuadamente la madurez pulmonar fetal.

Métodos emergentes y perspectivas futuras

La evidencia reciente sobre la evaluación de la microvasculatura pulmonar fetal mediante MV-Flow Doppler introduce un enfoque innovador en el análisis de la maduración pulmonar. A diferencia de los índices Doppler convencionales, que estiman indirectamente la resistencia vascular a partir de parámetros hemodinámicos macroscópicos, el MV-Flow permite la visualización y cuantificación del flujo sanguíneo en vasos de muy pequeño calibre, ofreciendo una aproximación más directa a la arquitectura microvascular pulmonar. La asociación observada entre valores reducidos de intensidad vascular microvascular (VI^ΔMV) y el desarrollo de síndrome de dificultad respiratoria neonatal sugiere que la microcirculación pulmonar podría constituir un biomarcador temprano de inmadurez pulmonar funcional ^[53] ^[54].

Desde el punto de vista fisiopatológico, el desarrollo pulmonar fetal implica una angiogénesis progresiva y remodelación vascular, con aumento del número y calibre de los vasos y disminución de la resistencia vascular, por lo que la evaluación de la densidad microvascular podría reflejar de manera más precisa el estado funcional del parénquima pulmonar que parámetros basados únicamente en edad gestacional o en medidas indirectas

de impedancia vascular; en este contexto, el MV-Flow Doppler podría complementar índices tradicionales como TA/TE, PI o RI al aportar información adicional sobre la maduración estructural pulmonar ^[30]. Sin embargo, se trata aún de una tecnología emergente, sustentada principalmente en estudios observacionales con muestras pequeñas, además de requerir equipos de alta gama que limitan su aplicabilidad en entornos con recursos restringidos. Por ello, son necesarios estudios prospectivos multicéntricos de mayor tamaño que definan valores de referencia por edad gestacional, evalúen la reproducibilidad interobservador y comparen su rendimiento diagnóstico con herramientas no invasivas como QuantusFLM® y Doppler convencional.

La evidencia más reciente sugiere que la predicción de morbilidad respiratoria neonatal podría fortalecerse mediante modelos integrados que combinen parámetros hemodinámicos fetales con variables clínicas y biometría pulmonar ^[55]. En este sentido, estudios recientes han mostrado que la relación TA/TE de la arteria pulmonar fetal mantiene un papel relevante como marcador no invasivo de riesgo respiratorio, especialmente cuando se analiza junto con otros factores obstétricos o con mediciones estructurales del pulmón fetal ^[56]. Este enfoque resulta clínicamente importante porque permite superar la interpretación aislada de un único parámetro Doppler y avanzar hacia una estratificación de riesgo más individualizada, particularmente en fetos con condiciones maternas o placentarias que pueden modificar la maduración pulmonar.

De manera complementaria, el desarrollo de modelos basados en análisis automatizado de textura ecográfica refuerza el potencial de la inteligencia artificial como apoyo diagnóstico en la evaluación de la madurez pulmonar fetal ^[57]. Estas herramientas permiten extraer información cuantitativa de imágenes ecográficas convencionales que no siempre es perceptible mediante la valoración visual del operador, y han demostrado un rendimiento prometedor para predecir morbilidad respiratoria neonatal ^[58]. Sin embargo, su implementación clínica aún exige validación externa, estandarización en la adquisición de imágenes y análisis de costo-efectividad, especialmente considerando que la indicación de corticosteroides antenatales en gestaciones tardías o en embarazos con diabetes continúa siendo un escenario de beneficio variable y potenciales riesgos metabólicos neonatales ^[59].

Consideraciones sobre costos y accesibilidad de los métodos diagnósticos

El Doppler de la arteria pulmonar fetal, particularmente la medición de la relación TA/TE, utiliza equipamiento ecográfico convencional ampliamente disponible en la mayoría de los servicios de obstetricia, no requiere software adicional ni licencias comerciales, y puede ser realizado durante una evaluación ecográfica rutinaria sin

incrementar de forma significativa el tiempo de exploración. Estas características lo convierten en una herramienta de bajo costo y alta factibilidad, especialmente relevante en contextos con recursos limitados o en sistemas de salud públicos, donde las guías clínicas enfatizan la necesidad de intervenciones costo-efectivas [60] [61].

En contraste, el análisis cuantitativo de textura pulmonar mediante QuantusFLM® requiere el uso de software especializado, procesamiento externo de imágenes y licencias comerciales, lo que implica mayores costos directos e indirectos, además de depender de infraestructura tecnológica adicional y capacitación específica. No obstante, su alto valor predictivo negativo observado de forma consistente en los estudios incluidos sugiere que podría ser costo-efectivo en escenarios clínicos seleccionados, al reducir intervenciones innecesarias, como la administración empírica de corticosteroides antenatales o el diferimiento injustificado del parto [25].

Desde una perspectiva de salud pública y alineada con las recomendaciones de las guías clínicas actuales, estos hallazgos sugieren que el TA/TE Doppler podría constituir una estrategia de primera línea para la evaluación no invasiva de la madurez pulmonar fetal, mientras que QuantusFLM® podría reservarse como herramienta complementaria en casos seleccionados, donde la incertidumbre clínica persiste o el impacto potencial de una decisión obstétrica incorrecta sea elevado.

Calidad de la evidencia e implicaciones para la práctica clínica

De acuerdo con la evaluación del riesgo de sesgo mediante las herramientas del NHLBI, la mayoría de los estudios incluidos presentaron un riesgo de sesgo moderado, lo cual es esperable dado el predominio de diseños observacionales. No obstante, la ausencia de estudios con alto riesgo de sesgo y la consistencia de los resultados fortalecen la validez de las conclusiones.

En conjunto, los hallazgos de esta revisión sugieren que los métodos ecográficos no invasivos, particularmente QuantusFLM® y los índices Doppler de la arteria pulmonar fetal, tienen el potencial de complementar las recomendaciones actuales de las guías clínicas, aportando información funcional relevante para optimizar el momento de la finalización del embarazo y reducir la morbilidad respiratoria neonatal. Sin embargo, se requiere mayor evidencia prospectiva y comparativa para definir su integración formal en algoritmos clínicos estandarizados.

Limitaciones

La presente revisión sistemática presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar

sus resultados. En primer lugar, la evidencia disponible se basa predominantemente en estudios observacionales, lo que implica un riesgo inherente de confusión residual y limita la posibilidad de establecer relaciones causales. En segundo lugar, se observó heterogeneidad metodológica entre los estudios incluidos, tanto en los rangos de edad gestacional evaluados como en los puntos de corte utilizados para los índices Doppler y los modelos de análisis cuantitativo de textura pulmonar, lo que dificultó la realización de un metanálisis. Adicionalmente, la mayoría de los estudios carecieron de cegamiento del evaluador, lo cual podría introducir sesgo de medición.

Debe considerarse como una limitación la posibilidad de sesgo de disponibilidad, debido a que la inclusión final dependió de la posibilidad de recuperar el texto completo de los estudios identificados. Aunque el acceso abierto no constituyó un criterio de elegibilidad y se recurrió a las fuentes bibliográficas y repositorios disponibles para los investigadores, no puede descartarse que estudios potencialmente relevantes cuyo texto completo no fue accesible hayan quedado excluidos. Esta situación podría haber limitado la exhaustividad de la evidencia incorporada en la revisión. Finalmente, la escasa disponibilidad de estudios con comparación directa entre métodos limita la capacidad de establecer superioridad definitiva entre las técnicas evaluadas.

Conclusiones

La evidencia sintetizada en esta revisión sistemática sugiere que los métodos ecográficos no invasivos para la evaluación de la madurez pulmonar fetal, particularmente los índices Doppler de la arteria pulmonar fetal y el análisis cuantitativo de textura pulmonar mediante QuantusFLM®, presentan un desempeño diagnóstico clínicamente relevante para la predicción de morbilidad respiratoria neonatal. Los índices Doppler, especialmente la relación TA/TE, demostraron una asociación consistente con el desarrollo de síndrome de dificultad respiratoria neonatal, mientras que QuantusFLM® destacó por su alto valor predictivo negativo, lo que lo posiciona como una herramienta útil para descartar inmadurez pulmonar funcional. Métodos emergentes, como la evaluación de la microvasculatura pulmonar fetal mediante MV-Flow Doppler, muestran resultados prometedores, aunque aún requieren validación adicional. En conjunto, estos hallazgos respaldan el potencial de estas técnicas como herramientas complementarias a los criterios clínicos tradicionales y a las guías actuales, especialmente en escenarios donde la edad gestacional no refleja adecuadamente la madurez pulmonar fetal. Se requieren estudios prospectivos comparativos y ensayos clínicos bien diseñados para definir su integración formal en la práctica clínica y en futuras recomendaciones internacionales.

Información Complementaria

Contribución de los autores (Taxonomía CRediT):

DFVC y EPDA participaron en la conceptualización, curación de datos, análisis formal e investigación, incluyendo la búsqueda, recolección y organización de los datos, así como en la obtención de resultados. CFPF contribuyó en la validación, supervisión y revisión crítica del contenido intelectual del manuscrito. Todos los autores aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Financiamiento: La presente investigación fue autofinanciada.

Disponibilidad de datos: Este estudio es una revisión sistemática basada en literatura previamente publicada. Los datos analizados provienen de artículos indexados

en bases de datos científicas y están disponibles públicamente a través de las referencias incluidas. La estrategia de búsqueda y los criterios de selección pueden ser proporcionados por los autores en caso de requerirlo.

Agradecimientos: Ninguno.

Declaración de uso de herramientas de inteligencia artificial (IA):

Los autores declaran que se utilizó herramientas de IA en la etapa de redacción-borrador original con fines de apoyo en la organización del contenido, mejora del estilo y corrección gramatical. Todo el contenido fue revisado, verificado y validado por los autores, quienes asumen plena responsabilidad por la exactitud, integridad y originalidad del manuscrito. No se introdujeron datos sensibles o confidenciales en las herramientas de IA.

En el proceso editorial, incluida la revisión por pares, se desarrolló conforme a la política de la revista sobre el uso responsable de herramientas de IA.

Referencias

- Michel A, Lowe NK. The successful immediate neonatal transition to extrauterine life. *Biological Research for Nursing*. 2017;19(3):287-294. DOI: 10.1177/1099800416685178.
- Pattnaik P, Adebisi K, Lee B. Neonatal respiratory distress syndrome. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026.
- Orellana Ortega JP, Salazar Torres ZK, Orellana Guerrero RV, Méndez Cabrera SF, Sánchez Salazar GM. Ecografía Doppler de la arteria pulmonar como indicador de madurez pulmonar fetal, Cuenca-Ecuador. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca*. 2020;38(2):29-38. DOI: 10.18537/RFCM.38.02.03.
- Pranty AI, Cuevas Ocaña S, Dickens JA. Mechanisms of surfactant maturation in development and disease. *Physiology*. 2026;41(6):364-380. DOI: 10.1152/physiol.00033.2025.
- Ahmed B, Konje JC. Fetal lung maturity assessment: a historic perspective and non-invasive assessment using an automatic quantitative ultrasound analysis (a potentially useful clinical tool). *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*. 2021; 258:343-347. DOI: 10.1016/j.ejogrb.2021.01.025.
- Štimac T, Petrović O, Krajina R, Prodan M, Bilić-Zulle L. Lamellar body count as a diagnostic test in predicting neonatal respiratory distress syndrome. *Croatian Medical Journal*. 2012;53(3):234-238. DOI: 10.3325/cmj.2012.53.234.
- Zubair M, Ogbjesi C, Tadi P. Lecithin sphingomyelin ratio. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
- Ezveci H, Doğru Ş, Yaman FK. Predictability of fetal pulmonary artery Doppler on neonatal outcomes in pregnant women with gestational diabetes mellitus. *Congenital Anomalies*. 2025;65(5). DOI: 10.1111/cga.70018.
- Schenone MH, Samson JE, Jenkins L, Suhag A, Mari G. Predicting fetal lung maturity using the fetal pulmonary artery Doppler wave acceleration/ejection time ratio. *Fetal Diagnosis and Therapy*. 2014;36(3):208-214. DOI: 10.1159/000358299.
- Duncan JR, Tobiasz AM, Dorsett KM, Aziz MM, Thompson RE, Bursac Z, et al. Fetal pulmonary artery acceleration/ejection time prognostic accuracy for respiratory complications in preterm prelabor rupture of membranes. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2020;33(12):2054-2058. DOI: 10.1080/14767058.2018.1536744.
- Moreno-Espinosa AL, Hawkins-Villarreal A, Coronado-Gutierrez D, Burgos-Artiz XP, Martínez-Portilla RJ, Peña-Ramírez T, et al. Prediction of neonatal respiratory morbidity assessed by quantitative ultrasound lung texture analysis in twin pregnancies. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(16):4895. DOI: 10.3390/jcm11164895.
- Albinagorta Olórtégui R, Miranda Tapia M. Actualización en la evaluación de la madurez pulmonar fetal por ultrasonido. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*. 2016;61(4):433-438. DOI: 10.31403/rpgo.v61i1877.
- Singh A, Sumbra V. Doppler assessment of fetal pulmonary artery as a predictor in neonatal respiratory distress. *Journal of Medical Ultrasound*. 2026;34(2):220-225. DOI: 10.4103/jmu.D-25-00057.
- Cobo T, Bonet-Carne E, Martínez-Torrón M, Perez-Moreno A, Elías N, Luque J, et al. Feasibility and reproducibility of fetal lung texture analysis by automatic quantitative ultrasound analysis and correlation with gestational age. *Fetal Diagnosis and Therapy*. 2012;31(4):230-236. DOI: 10.1159/000335349.
- Zullo F, Gulersen M, Di Mascio D, Roth SC, Logue TC, Rizzo G, et al. Antenatal corticosteroids for patients at risk of late preterm birth: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *American Journal of Obstetrics & Gynecology MFM*. 2025;7(10):101709. DOI: 10.1016/j.ajogmf.2025.101709.
- Vafaei H, Kaveh Baghbahadorani F, Asadi N, Kasraeian M, Faraji A, Roozmeh S, et al. The impact of betamethasone on fetal pulmonary, umbilical and middle cerebral artery Doppler velocimetry and its relationship with neonatal respiratory distress syndrome. *BMC Pregnancy and Childbirth*. 2021;21(1):188. DOI: 10.1186/s12884-021-03655-2.

17. Vogel JP, Ramson J, Darmstadt GL, Qureshi ZP, Chou D, Bahl R, *et al.* Updated WHO recommendations on antenatal corticosteroids and tocolytic therapy for improving preterm birth outcomes. *The Lancet Global Health*. 2022;10(12). DOI: [10.1016/S2214-109X\(22\)00434-X](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(22)00434-X).
18. Jiao J, Du Y, Li X, Guo Y, Ren Y, Wang Y. Prenatal prediction of neonatal respiratory morbidity: a radiomics method based on imbalanced few-shot fetal lung ultrasound images. *BMC Medical Imaging*. 2022;22(1):2. DOI: [10.1186/s12880-021-00731-z](https://doi.org/10.1186/s12880-021-00731-z).
19. Aafreen S, Kumar M, Nangia S. Prenatal ultrasound markers: a comparative study for prediction of respiratory distress in early preterm newborns. *Journal of Obstetrics and Gynecology of India*. 2022;72(3):198-203. DOI: [10.1007/s13224-021-01592-w](https://doi.org/10.1007/s13224-021-01592-w).
20. Xia T, Song S, Wang L, Sun L, Wang J, Wu Q. Establishing reference intervals for normal fetal lung biological parameters at 21–40 weeks of gestation in the Chinese population: a cross-sectional study. *Diagnostics*. 2023;13(23):3525. DOI: [10.3390/diagnostics13233525](https://doi.org/10.3390/diagnostics13233525).
21. Keshuraj V, Prakash A, Boruah DK, Ramanna HC, Sowmyashree AR, Mithun SK. Validity of foetal Doppler indices in predicting postnatal respiratory distress syndrome: a prospective study. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2022;53(1):183. DOI: [10.1186/s43055-022-00865-2](https://doi.org/10.1186/s43055-022-00865-2).
22. Ouzzani M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan: a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*. 2016;5(1):210. DOI: [10.1186/s13643-016-0384-4](https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4).
23. National Heart, Lung, and Blood Institute. Study Quality Assessment Tools [Internet]. Bethesda: National Heart, Lung, and Blood Institute; 2024.
24. Peñaherrera-Ron MT, Villalobos-Inciarte N, López-Mayorga OR, López-López AP, Rodríguez-Cruz VE, Peñaherrera-Ron MA, *et al.* Tiempo de aceleración y tiempo de eyección de la arteria pulmonar fetal como predictor de madurez pulmonar. *Dominio de las Ciencias*. 2019;5(3):42. DOI: [10.23857/dc.v5i3.923](https://doi.org/10.23857/dc.v5i3.923).
25. QuantusFLM. Servicio de madurez pulmonar fetal no invasivo basado en análisis de ultrasonido [Internet]. n.d.
26. Avena-Zampieri CL, Hutter J, Rutherford M, Milan A, Hall M, Egloff A, *et al.* Assessment of the fetal lungs in utero. *American Journal of Obstetrics & Gynecology MFM*. 2022;4(5):100693. DOI: [10.1016/j.ajogmf.2022.100693](https://doi.org/10.1016/j.ajogmf.2022.100693).
27. Kamaleldin Abdelhamid M, Said Abdel Ghani H, Abdel Wadood Khalil O, El-Gelany S, Mohamed Osman N. Quantitative ultrasound texture analysis of fetal lung versus fetal pulmonary artery Doppler as a predictor of neonatal respiratory distress syndrome (RDS). *International Journal of Medical Imaging*. 2020;8(2):23-29. DOI: [10.11648/j.ijmi.20200802.12](https://doi.org/10.11648/j.ijmi.20200802.12).
28. Abbas M, Mayallo R. Fetal pulmonary artery Doppler's predictive usefulness in newborn respiratory distress syndrome. *Journal of the Journal of Obstetrics and Applied Sciences*. 2024;18(1). DOI: [10.35192/jjoas-n.v18i1.1848](https://doi.org/10.35192/jjoas-n.v18i1.1848).
29. Hassan HGEMA, Nagi MAMA, Salama AMM, Dawoud MOAEA, Elgendy GG, Abdelrahman AS. Sonographic prediction of fetal main pulmonary artery Doppler indices of lung maturity and neonatal respiratory distress syndrome (RDS) development. *Journal of Ultrasound*. 2023;26(3):525-533. DOI: [10.1007/s40477-023-00780-w](https://doi.org/10.1007/s40477-023-00780-w).
30. Khalifa YEA, Aboulghar MM, Hamed ST, Tomerak RH, Asfour AM, Kamal EF. Prenatal prediction of respiratory distress syndrome by multimodality approach using 3D lung ultrasound, lung-to-liver intensity ratio tissue histogram and pulmonary artery Doppler assessment of fetal lung maturity. *British Journal of Radiology*. 2021;94(1128):20210577. DOI: [10.1259/bjr.20210577](https://doi.org/10.1259/bjr.20210577).
31. Alkashty A, Omar K, Eid S. Prediction of fetal lung maturity by fetal pulmonary artery Doppler in cases of severe pre-eclampsia. *International Journal of Medical Arts*. 2021;3(4):1862-1873. DOI: [10.21608/ijma.2021.90115.1348](https://doi.org/10.21608/ijma.2021.90115.1348).
32. Kandil SA, Elshafey RA, Eltokhi HM, Eldeeb BS. Fetal main pulmonary artery Doppler and prediction of lung maturity. *Tanta Medical Journal*. 2023;51(1):48-54. DOI: [10.4103/tmj.tmj_46_22](https://doi.org/10.4103/tmj.tmj_46_22).
33. Mendoza Mora JG, Urbina Labrador RJ, González Blanco M. Madurez fetal: utilidad de la estimación de la presión de la arteria pulmonar fetal. *Revista de Obstetricia y Ginecología de Venezuela*. 2024;84(1):49-58. DOI: [10.51288/00840109](https://doi.org/10.51288/00840109).
34. Tang Y, Jin X, Xu L, Deng Y, Chang Z, Li Q, *et al.* The value of ultrasonography in assessing fetal lung maturity. *Journal of Computer Assisted Tomography*. 2020;44(3):328-333. DOI: [10.1097/RCT.0000000000001011](https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000001011).
35. Burgos-Artiz XP, Perez-Moreno Á, Coronado-Gutierrez D, Gratacos E, Palacio M. Evaluation of an improved tool for non-invasive prediction of neonatal respiratory morbidity based on fully automated fetal lung ultrasound analysis. *Scientific Reports*. 2019;9(1):1950. DOI: [10.1038/s41598-019-38576-w](https://doi.org/10.1038/s41598-019-38576-w).
36. Zamarian ACP, Caetano ACR, Grohmann RM, Mazzola JB, Milani HJF, Passos JP, *et al.* Prediction of lung maturity in fetuses with growth restriction through quantitative ultrasound analysis. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2022;48(1):20-26. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2021.08.020](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2021.08.020).
37. Flosi FB, Da Silva FC, De Jesús GR, Velarde LGC, De Sá RAM. Assessment of fetal lung maturity using quantitative ultrasound analysis in patients with prelabor rupture of membranes. *Fetal Diagnosis and Therapy*. 2020;47(8):636-641. DOI: [10.1159/000507550](https://doi.org/10.1159/000507550).
38. Rabachini Caetano AC, Machado Nardozza LM, Perez Zamarian AC, Silva Drumond LG, Chiaratti De Oliveira A, Dualib PM, *et al.* Prediction of lung maturity through quantitative ultrasound analysis of fetal lung texture in women with diabetes during pregnancy. *Journal of Perinatal Medicine*. 2023;51(7):913-919. DOI: [10.1515/jpm-2023-0009](https://doi.org/10.1515/jpm-2023-0009).
39. López Sánchez F, Delgado Sánchez E, Duyos Mateo I, González Álvarez M de la C, Antolín Alvarado E, Bartha JL. Evaluation of fetal lung maturity by quantitative analysis (quantusFLM) in women with gestational diabetes mellitus. *Fetal Diagnosis and Therapy*. 2019;45(5):345-352. DOI: [10.1159/000488939](https://doi.org/10.1159/000488939).
40. Wang Q, Chen Y, Xu S, Lin Y. Assessment of fetal lung maturity and prediction of neonatal respiratory distress syndrome by MV-Flow imaging. *Ultrasonography*. 2025;44(4):470-482. DOI: [10.14366/usg.24200](https://doi.org/10.14366/usg.24200).
41. Stock SJ, Thomson AJ, Papworth S; Royal College of Obstetricians and Gynaecologists. Antenatal corticosteroids to reduce neonatal morbidity and mortality: Green-top Guideline No. 74. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*. 2022;129(8). DOI: [10.1111/1471-0528.17027](https://doi.org/10.1111/1471-0528.17027).
42. American College of Obstetricians and Gynecologists. ACOG Committee Opinion No. 765: Avoidance of nonmedically indicated early-term deliveries and associated neonatal morbidities. *Obstetrics & Gynecology*. 2019;133(2). DOI: [10.1097/AOG.0000000000003076](https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000003076).
43. Norman J, Shennan A, Jacobsson B, Stock SJ; FIGO Working Group for Preterm Birth. FIGO good practice recommendations on the use of prenatal corticosteroids to improve outcomes and minimize harm in babies born preterm. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*. 2021;155(1):26-30. DOI: [10.1002/ijgo.13836](https://doi.org/10.1002/ijgo.13836).
44. Phuakpoolpol S, Trakulmongkikharn T, Diawtipsukon S, Junhasavasdikul S. Reference values of fetal pulmonary artery branch from 18 to 40 weeks of gestation. *Scientific*

- Reports. 2025;15(1):17343. DOI: [10.1038/s41598-025-00589-z](https://doi.org/10.1038/s41598-025-00589-z).
45. Ghanayem NS, Gordon JB. Modulation of pulmonary vasomotor tone in the fetus and neonate. *Respiratory Research*. 2001;2(3):139-144. DOI: [10.1186/rr50](https://doi.org/10.1186/rr50).
 46. Moety GAFA, Gaafar HM, El Rifai NM. Can fetal pulmonary artery Doppler indices predict neonatal respiratory distress syndrome? *Journal of Perinatology*. 2015;35(12):1015-1019. DOI: [10.1038/jp.2015.128](https://doi.org/10.1038/jp.2015.128).
 47. Kumar I, Kukreja K, Kumar A, Aggarwal P, Sachan S, Verma A. Predicting neonatal RDS with fetal pulmonary artery Doppler: a diagnostic performance and ROC curve analysis. *The Ultrasound Journal*. 2025;17(1):57. DOI: [10.1186/s13089-025-00456-y](https://doi.org/10.1186/s13089-025-00456-y).
 48. Azpurua H, Norwitz ER, Campbell KH, Funai EF, Pettker CM, Kleine M, et al. Acceleration/ejection time ratio in the fetal pulmonary artery predicts fetal lung maturity. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. 2010;203(1):40.e1-40.e8. DOI: [10.1016/j.ajog.2010.01.075](https://doi.org/10.1016/j.ajog.2010.01.075).
 49. Ceylan M, Oktem A, Gercik Arzik I, Balci MF, Emiralioglu Cakir Z, Golbasi H. Evaluation of pulmonary artery acceleration/ejection time ratio (PATET) and the AST-to-platelet ratio index (APRI) in intrahepatic cholestasis of pregnancy. *Journal of Clinical Medicine*. 2026;15(10):3632. DOI: [10.3390/jcm15103632](https://doi.org/10.3390/jcm15103632).
 50. Palacio M, Bonet-Carne E, Cobo T, Perez-Moreno A, Sabrià J, Richter J, et al. Prediction of neonatal respiratory morbidity by quantitative ultrasound lung texture analysis: a multicenter study. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. 2017;217(2):196.e1-196.e14. DOI: [10.1016/j.ajog.2017.03.016](https://doi.org/10.1016/j.ajog.2017.03.016).
 51. Rohwer AC, Oladapo OT, Hofmeyr GJ. Strategies for optimising antenatal corticosteroid administration for women with anticipated preterm birth. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2020;5. DOI: [10.1002/14651858.CD013633](https://doi.org/10.1002/14651858.CD013633).
 52. Ninan K, Gojic A, Wang Y, Asztalos EV, Beltempo M, Murphy KE, et al. The proportions of term or late preterm births after exposure to early antenatal corticosteroids, and outcomes: systematic review and meta-analysis of 1.6 million infants. *BMJ*. 2023;382. DOI: [10.1136/bmj-2023-076035](https://doi.org/10.1136/bmj-2023-076035).
 53. Chen D, Yang H, Cao Y, Cheng W, Duan T, Fan C, et al. Expert consensus for managing pregnant women and neonates born to mothers with suspected or confirmed novel coronavirus infection. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*. 2020;149(2):130-136. DOI: [10.1002/ijgo.13146](https://doi.org/10.1002/ijgo.13146).
 54. Malho ADS, Ximenes R, Ferri A, Bravo-Valenzuela NJ, Araujo Júnior E. MV-Flow and LumiFlow: new Doppler tools for the visualization of fetal blood vessels. *Radiologia Brasileira*. 2021;54(4):277-278. DOI: [10.1590/0100-3984.2020.0109](https://doi.org/10.1590/0100-3984.2020.0109).
 55. Seth N, Verma S. Foetal pulmonary artery derived Doppler parameters for foetal lung maturity assessment: an observational study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2024;18(8). DOI: [10.7860/JCDR/2024/70374.19711](https://doi.org/10.7860/JCDR/2024/70374.19711).
 56. Rehman S, Hashmi MF, Nelson VL. Blood pressure measurement. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
 57. Ibrahim MEA, Rezk MA, El-Khouli H, Owais AS. Integrating fetal pulmonary artery Doppler with 2D lung volumetry to predict neonatal respiratory distress. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2026;57(1):2. DOI: [10.1186/s43055-025-01665-0](https://doi.org/10.1186/s43055-025-01665-0).
 58. Duygulu Bulan D, Dayanan R, Kahraman NC, Kunt S, Celen S. Pulmonary vascular Doppler and fetal lung biometry as predictors of neonatal respiratory complications in early- and late-onset fetal growth restriction. *Pediatric Pulmonology*. 2025;60(10). DOI: [10.1002/ppul.71333](https://doi.org/10.1002/ppul.71333).
 59. Ibrahim AF, Melkie TB, Filatie TD, Tegegne BA, Admassie BM. Practice of enhanced recovery after cesarean delivery in resource-limited setting. *Annals of Medicine & Surgery*. 2024;86(1):139-145. DOI: [10.1097/MS9.0000000000001571](https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000001571).
 60. Melo G, Aguilar-Farias N, López Barrera E, Chomali L, Moz-Christofolletti MA, Salgado JC, et al. Structural responses to the obesity epidemic in Latin America: what are the next steps for food and physical activity policies? *The Lancet Regional Health - Americas*. 2023;21:100486. DOI: [10.1016/j.lana.2023.100486](https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100486).
 61. Bhide A, Acharya G, Bilardo CM, Brezinka C, Cafici D, Hernandez-Andrade E, et al. ISUOG practice guidelines: use of Doppler ultrasonography in obstetrics. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. 2013;41(2):233-239. DOI: [10.1002/uog.12371](https://doi.org/10.1002/uog.12371).