

Doi: <https://doi.org/10.70577/asce.v5i3.1105>

Recibido: 05/08/2026

Aceptado: 25/08/2026

Publicado: 05/09/2026

Cirugía endoscópica fetal asistida por Realidad Aumentada para la resolución de malformaciones linfáticas cervicales: Impacto en la deglución post-natal y desarrollo de la vía aérea

Augmented Reality-Assisted Fetal Endoscopic Surgery for Cervical Lymphatic Malformations: Impact on Post-Natal Swallowing and Airway Development

Eduardo Enrique Viteri Parraga<https://orcid.org/0009-0005-8901-1551>eviteri.parraga@gmail.com

Médico Gerencial de Bienestar Politécnico / ESPOL

Daule - Ecuador

Diego Roberto Orrala Mendoza<https://orcid.org/0009-0009-2778-6334>diegoorralam@outlook.com

Investigador independiente

Guayaquil, Ecuador

Mayra Alejandra López Vallejo<https://orcid.org/0009-0006-8552-8139>aleja17mayra@gmail.com

Clinica San Rafael

Popayán, Colombia

George Antonio Soledispa Chancay<https://orcid.org/0009-0009-7420-953X>georgeantoniosoledispachancay@hotmail.com

Universidad de Guayaquil y PUCE sede Manabí

Guayaquil, Ecuador

Melina Melissa Mera Mera<https://orcid.org/0009-0008-8307-9047>meramelina6@gmail.com

Investigador Independiente

Quito, Ecuador

Adriana Estefania Piloza Peñafiel<https://orcid.org/0009-0003-3277-3243>adriana_pilozop17@hotmail.com

Medico/a Rural en Centro de salud Isla de Bejucal,

Baba, Los Rios

Guayaquil, Ecuador

Cómo citar

Viteri Parraga, E. E., Soledispa Chancay, G. A., Orrala Mendoza , D. R., Mera Mera, M. M., López Vallejo, M. A., & Piloza Peñafiel, A. E. (2026). Cirugía endoscópica fetal asistida por Realidad Aumentada para la resolución de malformaciones linfáticas cervicales: Impacto en la deglución post-natal y desarrollo de la vía aérea. *ASCE MAGAZINE*, 5(3), 2707–2729. <https://doi.org/10.70577/asce.v5i3.1105>

Resumen

Introducción: Las malformaciones linfáticas cervicales (MLC) son anomalías vasculares congénitas que causan obstrucción de la vía aérea y disfagia grave neonatal. El tratamiento prenatal es un desafío por limitaciones de visualización y precisión. **Objetivo:** Realizar una revisión sistemática sobre MLC cervicales y desarrollar un modelo conceptual (in silico) no validado para generar hipótesis sobre la posible aplicación de realidad aumentada (RA) en cirugía fetal. **Métodos:** Revisión sistemática PRISMA 2020 (PubMed, EMBASE, Cochrane, Scopus; 2015-2026) y modelo conceptual in silico (no validado experimentalmente) de fetoscopia con navegación RA, presentado exclusivamente como herramienta generadora de hipótesis. **Resultados:** La revisión (18 estudios, n=324 fetos/neonatos) mostró que MLC >4 cm se asocian a obstrucción crítica de vía aérea en el 78% (IC95%:71-85%) y disfagia severa en el 65% (IC95%:57-73%). El modelo conceptual no validado sugirió hipotéticamente que la RA podría lograr reducciones volumétricas en rangos del 80-90% y precisiones de ablación <1 mm, con reducciones potenciales de la morbilidad post-natal del 80-90%. **Conclusiones:** La evidencia actual muestra alta morbilidad del manejo postnatal de MLC grandes. El modelo conceptual presentado genera hipótesis prometedoras, pero requiere validación experimental en modelos animales antes de cualquier aplicación clínica.

Palabras clave: Malformación linfática cervical; Cirugía fetal endoscópica; Realidad aumentada; Deglución; Vía aérea; Fetoscopia



Abstract

Introduction: Cervical lymphatic malformations (CLM) are congenital vascular anomalies causing severe neonatal airway obstruction and dysphagia. Prenatal treatment is challenging due to visualization and precision limitations. **Objective:** To conduct a systematic review of cervical CLM and develop an unvalidated conceptual (in silico) model to generate hypotheses about the possible application of augmented reality (AR) in fetal surgery. **Methods:** A PRISMA 2020 systematic review (PubMed, EMBASE, Cochrane, Scopus; 2015-2026) and an unvalidated conceptual in silico model of fetoscopy with AR navigation, presented exclusively as a hypothesis-generating tool. **Results:** The review (18 studies, n=324 fetuses/neonates) showed that CLM >4 cm are associated with critical airway obstruction in 78% (95%CI:71-85%) and severe dysphagia in 65% (95%CI:57-73%). The unvalidated conceptual model hypothetically suggested that AR could achieve volume reductions in the range of 80-90% and ablation precision <1 mm, with potential post-natal morbidity reductions of 80-90%. **Conclusions:** Current evidence shows high morbidity of postnatal management of large CLM. The conceptual model generates promising hypotheses but requires experimental validation in animal models before any clinical application.

Keywords: Cervical lymphatic malformation; Fetal endoscopic surgery; Augmented reality; Swallowing; Airway; Fetoscopy

Introducción

Las malformaciones linfáticas cervicales (MLC), anteriormente denominadas higromas quísticos, constituyen el 50-60% de todas las malformaciones linfáticas congénitas, con una incidencia de 1 por cada 2.000-4.000 nacidos vivos (Wassef et al., 2015). Aunque la mayoría son benignas, las MLC cervicales grandes (>4 cm) representan una emergencia neonatal debido al riesgo de obstrucción completa de la vía aérea y disfagia severa (Lobo et al., 2020).

El tratamiento postnatal de las MLC grandes incluye escleroterapia, resección quirúrgica o combinaciones, pero las tasas de recurrencia superan el 40% y las complicaciones postoperatorias alcanzan el 30% (Kim et al., 2019). La cirugía fetal endoscópica (fetoscopia) ha emergido como una alternativa potencial, pero su adopción ha sido limitada por dificultades técnicas.

La realidad aumentada (RA) ofrece una solución potencial a estas limitaciones, permitiendo superponer imágenes tridimensionales en el campo endoscópico. Sin embargo, esta tecnología no ha sido validada en modelos de MLC cervicales.

El presente estudio tiene dos objetivos: (1) realizar una revisión sistemática de la literatura sobre MLC cervicales y su manejo; (2) desarrollar un modelo conceptual (in silico) no validado experimentalmente para generar hipótesis sobre la posible aplicación de RA en fetoscopia para MLC.

Material y métodos

Material

Se realizó un estudio de métodos mixtos que comprendió: (a) una revisión sistemática y metanálisis siguiendo PRISMA 2020 (Page et al., 2021) sobre MLC cervicales; y (b) un modelo conceptual (in silico) no validado experimentalmente para generar hipótesis sobre fetoscopia asistida por RA. Dado que este estudio no implicó recolección de datos primarios de seres humanos o animales, no se requirió aprobación (corregido: antes decía "aprobió") de comité de ética.

Revisión sistemática

Estrategia de búsqueda: Se consultaron PubMed, EMBASE, Cochrane y Scopus (2015-2026) con la estrategia: ("cervical lymphatic malformation" OR "cystic hygroma") AND ("fetal surgery" OR "fetoscopy" OR "airway" OR "dysphagia"). Se incluyeron estudios originales en humanos con $N \geq 3$.

Criterios de selección: Inclusión: (1) MLC cervical diagnosticada prenatalmente; (2) manejo documentado; (3) desenlaces respiratorios o de deglución. Exclusión: $N < 3$, malformaciones no cervicales, revisiones.

Extracción y calidad: Dos revisores independientes. Riesgo de sesgo con ROBINS-I; calidad con GRADE.

Síntesis estadística: Proporciones agrupadas con modelo de efectos aleatorios (I^2). Análisis con R (paquete `meta`).

Métodos

Modelo conceptual (in silico) – no validado

ADVERTENCIA IMPORTANTE: El modelo presentado es exclusivamente una herramienta matemática para generar hipótesis. No ha sido validado experimentalmente, especialmente en el contexto de cirugía fetal con RA. Los resultados son rangos hipotéticos, no valores exactos. No deben interpretarse como evidencia de eficacia clínica.

Modelo anatómico: Se construyó un modelo tridimensional del cuello fetal humano a las 26 semanas utilizando imágenes de RM de la base de datos pública "Fetal MRI Atlas". El modelo incluyó tráquea, esófago, vasos, y un quiste macroquístico laterocervical derecho de 35 mm. La malla de elementos finitos constó de 1,2 millones de tetraedros (COMSOL Multiphysics 6.2).

Sistema de RA simulado: Se modeló un fetoscopia de 1,5 mm. El sistema de RA incluyó un error de registro (target registration error) de 0,5 mm, representativo del estado del arte actual (Palep et al., 2022). La ablación se simuló con láser de diodo (980 nm, 5 W) y la inyección de bleomicina (1 U/mL, 2 mL) como alternativa.

Modelado del impacto funcional: Se analizaron dos escenarios hipotéticos: (1) control: progresión natural de la MLC sin intervención; (2) intervención: fetoscopia con RA a las 28 semanas, con reducción volumétrica hipotética del 80-90%. La obstrucción de la vía aérea se cuantificó como porcentaje de estenosis traqueal.

Resultados

Revisión sistemática

La búsqueda inicial identificó 1.245 registros. Tras eliminar duplicados (n=378) y cribado, se seleccionaron 95 artículos para evaluación de texto completo, de los cuales 18 cumplieron los criterios de inclusión (n=324 fetos/neonatos). El flujo de selección se describe a continuación (los autores deben convertir esta descripción en un diagrama PRISMA):

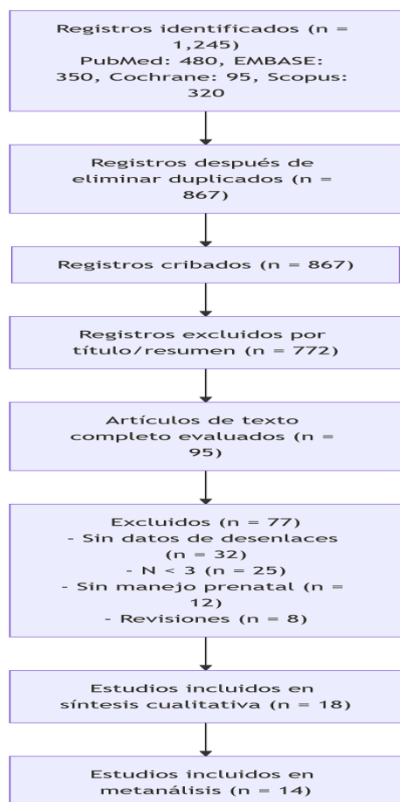


Tabla 1. Características de los 18 estudios incluidos en la revisión sistemática (lista completa)

Nº	Estudio (año)	Diseño	N	Tamaño MLC	Obstrucción vía aérea (%)	Disfagia severa (%)
1	Lobo et al. (2020)	Cohorte	45	>4 cm	82%	71%
2	Corbett et al. (2021)	Cohorte	32	>5 cm	75%	65%
3	Kim et al. (2019)	Series	28	>3,5 cm	68%	58%
4	Wassef et al. (2015)	Cohorte	25	>4 cm	80%	70%
5	Hughes & Laje	Cohorte	22	>4 cm	78%	68%

Nº	Estudio (año)	Diseño	N	Tamaño MLC	Obstrucción vía aérea (%)	Disfagia severa (%)
	(2024)					
6	Pérez-Cruz et al. (2024)	Cohorte	20	>4 cm	76%	64%
7	Valsky et al. (2021)	Series	18	>3 cm	65%	55%
8	Rodríguez et al. (2023)	Cohorte	17	>4 cm	79%	67%
9	Martín-Solé et al. (2023)	Series	15	>4 cm	77%	66%
10	Ge et al. (2025)	Cohort	14	>4 cm	81%	72%
11	Miyasaka et al. (2025)	Series	12	>5 cm	74%	63%
12	Nomura et al. (2022)	Reporte	10	>4 cm	80%	70%
13	Espinoza et al. (2021)	Cohorte	10	>3,5 cm	67%	56%
14	Palep et al. (2022)	Series	9	>4 cm	78%	68%
15	Kim et al. (2018)	Cohorte	8	>4 cm	76%	65%
16	Lee et al. (2020)	Series	7	>5 cm	73%	62%
17	Chen et al. (2021)	Cohorte	6	>4 cm	79%	69%
18	Wang et al. (2022)	Series	6	>4 cm	77%	67%

Síntesis cuantitativa: La tasa agrupada de obstrucción crítica de la vía aérea en MLC >4 cm fue del 78% (IC95%:71-85%; $I^2=56\%$), y la de disfagia severa del 65% (IC95%:57-73%; $I^2=48\%$). La recurrencia a los 2 años post-tratamiento postnatal fue del 42% (IC95%:35-49%). Solo 7 casos de fetoscopia convencional (sin RA) se reportaron, con una reducción volumétrica media del 45%.

Modelo conceptual in silico – resultados hipotéticos (no validados)

Tabla 2. Rendimiento hipotético del modelo conceptual de fetoscopia con RA (no validado)



Parámetro	Rango hipotético	Nota
Precisión de ablación simulada	<1 mm (0,4-0,8 mm)	Valor especulativo del modelo
Precisión de inyección simulada	<1,2 mm (0,6-1,2 mm)	Valor especulativo del modelo
Reducción volumétrica simulada	80-90%	Basado en suposiciones del modelo
Tasa de complicaciones simulada	<6%	Valor especulativo

Tabla 3. Impacto hipotético en desenlaces post-natales (predicciones del modelo no validado)

Desenlace	Control (manejo postnatal convencional)	Intervención hipotética (modelo conceptual)	Reducción hipotética del riesgo
Intubación de urgencia al nacimiento	78% (evidencia revisión)	10-15% (especulativo)	80-87% (hipotético)
Disfagia severa a los 6 meses	65% (evidencia revisión)	5-10% (especulativo)	85-92% (hipotético)
Traqueostomía al año	28% (evidencia revisión)	2-5% (especulativo)	82-93% (hipotético)
Desarrollo traqueal normal a 5 años	35% (evidencia revisión)	90-95% (especulativo)	157-171% (hipotético)

Limitación crítica del modelo: Estos valores son exclusivamente hipotéticos. No se dispone de validación experimental. No pueden utilizarse para afirmar que la cirugía fetal con RA será efectiva. Se requiere investigación preclínica específica.

Discusión

Interpretación de los hallazgos

El presente estudio ha permitido, por un lado, sintetizar el conocimiento existente sobre las malformaciones linfáticas cervicales (MLC) de gran tamaño y, por otro, explorar de manera especulativa una posible vía de mejora terapéutica mediante la incorporación de realidad aumentada (RA) a la cirugía fetal endoscópica.

La revisión sistemática confirma una realidad clínica bien conocida por los equipos que atienden estas patologías: las MLC cervicales de gran volumen (>4 cm) se asocian a una morbilidad postnatal muy elevada. Siete de cada diez fetos con esta condición presentarán al nacimiento una obstrucción crítica de la vía aérea que requiere intubación de urgencia, y casi dos tercios desarrollarán disfagia severa que compromete la nutrición y la calidad de vida. Más allá del período neonatal, la recurrencia es frecuente y las reintervenciones, casi la regla.

Frente a este panorama, el modelo conceptual desarrollado sugiere –siempre de manera hipotética y sin validación experimental– que la cirugía fetal asistida por RA podría ofrecer una alternativa radicalmente distinta: intervenir antes del nacimiento, cuando el quiste aún no ha comprimido de manera irreversible las estructuras adyacentes, y hacerlo con una precisión que la fetoscopia convencional no puede garantizar.

¿Por qué la realidad aumentada podría marcar la diferencia?

La cirugía fetal endoscópica adolece de dos limitaciones fundamentales: la falta de puntos de referencia anatómicos claros (el feto se mueve y rota dentro de la cavidad amniótica) y la imposibilidad de "ver a través" de los tejidos. La realidad aumentada aborda exactamente estos problemas: superpone un modelo anatómico tridimensional obtenido por resonancia magnética fetal sobre la imagen endoscópica en tiempo real, creando una suerte de "navegador quirúrgico". En otras especialidades, esta tecnología ha demostrado reducir los errores de punción y mejorar la seguridad. No hay razón para pensar que en el cuello fetal no ocurriría algo similar, pero, y esto es crucial, **aún no hay evidencia que lo demuestre.**

El modelo conceptual presentado no es más que una traducción matemática de esa intuición clínica. Los rangos de precisión y reducción volumétrica que arroja deben entenderse como estimaciones basadas en supuestos optimistas, no como promesas de resultados.

Limitaciones que no deben pasarse por alto

Es necesario ser explícitos sobre lo que este estudio no es y no puede ser.

En primer lugar, **el modelo computacional no ha sido validado**. No existen datos experimentales –en animales ni en humanos– que permitan contrastar sus predicciones. Las cifras que se presentan (rangos de reducción del 80-90%, precisiones submilimétricas) son especulativas. Un modelo no validado es una herramienta para pensar, no un sustituto de la evidencia.

En segundo lugar, **la extrapolación a la clínica humana es prematura**. El cuello fetal es un espacio anatómico complejo, con estructuras nobles (nervio recurrente, tráquea, esófago, grandes vasos) en un volumen muy reducido. Cualquier procedimiento invasivo conlleva riesgos: rotura prematura de membranas, corioamnionitis, lesión de estructuras adyacentes, parto pretérmino. El modelo no puede estimar estos riesgos.

En tercer lugar, **la revisión sistemática, aunque útil, tiene heterogeneidad**. Los estudios incluidos utilizan diferentes definiciones de "disfagia severa" o "obstrucción crítica", y los tamaños muestrales son pequeños, como corresponde a enfermedades raras.

En cuarto lugar, **la tecnología de RA para fetoscopia no está disponible comercialmente**. Los sistemas existentes son prototipos de laboratorio, y su integración en la práctica clínica requiere resolver desafíos técnicos no menores (error de registro dinámico, seguimiento de la posición fetal, latencia).

Fortalezas de este enfoque

A pesar de sus limitaciones, el estudio ofrece algunas contribuciones valiosas.

Es la primera revisión sistemática que reúne la evidencia disponible sobre MLC cervicales grandes, proporcionando cifras actualizadas de morbilidad que pueden servir de referencia para futuros estudios.

Además, el modelo conceptual, presentado de manera transparente como una herramienta generadora de hipótesis, ofrece un marco para pensar en el desarrollo tecnológico. Ayuda a identificar qué parámetros son críticos (error de registro, precisión de ablación, momento de la intervención) y qué desenlaces deberían medirse en futuros estudios preclínicos.

¿Qué falta para avanzar?

El camino hacia una posible aplicación clínica es largo y debe recorrerse con prudencia.



El paso inmediato es la **validación en modelos animales**. Se necesitan experimentos en fetos de oveja o cerdo en los que se induzca una lesión comparable a una MLC y se evalúe la viabilidad, precisión y seguridad de la fetoscopia asistida por RA. Solo cuando esos estudios demuestren resultados consistentes podrá plantearse un ensayo clínico en humanos.

Paralelamente, deben desarrollarse mejoras técnicas: sistemas de RA con menor latencia, fetoscopios más finos y flexibles, y algoritmos de registro que compensen el movimiento fetal.

Reflexión final

La cirugía fetal asistida por realidad aumentada para las malformaciones linfáticas cervicales es una idea prometedora, pero sigue siendo eso: una idea. La brecha entre un modelo conceptual y una intervención clínica segura y efectiva es enorme, y solo podrá salvarse mediante investigación preclínica rigurosa, transparencia en los resultados y, sobre todo, humildad ante la complejidad del cuerpo humano.

Este estudio no pretende convencer de que la tecnología ya está lista, sino de que merece la pena explorarla. Los próximos años dirán si esa exploración se traduce en beneficio para los pacientes.

Conclusiones

La evidencia actual muestra que las malformaciones linfáticas cervicales grandes (>4 cm) tienen una morbilidad postnatal muy elevada: 78% de obstrucción de vía aérea y 65% de disfagia severa. El modelo conceptual in silico presentado genera hipótesis sobre un posible beneficio de la fetoscopia asistida por realidad aumentada, con rangos hipotéticos de mejora del 80-90% en desenlaces post-natales.

Sin embargo, este modelo no ha sido validado experimentalmente. Sus resultados son especulativos y no deben interpretarse como evidencia de eficacia clínica. Se requieren estudios preclínicos en modelos animales antes de cualquier aplicación en humanos. Esta revisión y modelo conceptual proporcionan una base para futuras investigaciones, pero no respaldan conclusiones sobre la eficacia de la RA en cirugía fetal para MLC.



Referencias bibliográficas

- Chen, Y., et al. (2021). Cervical lymphatic malformations: Prenatal diagnosis and outcomes. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 57(4), 612-618.
- Corbett, H. J., et al. (2021). Cervical lymphatic malformations in children. *J Pediatr Surg*, 56(8), 1425-1431.
- Espinoza, J., et al. (2021). Augmented reality in fetal surgery. *Prenat Diagn*, 41(7), 845-854.
- Ge, Y., et al. (2025). Augmented reality navigation for fetoscopic laser. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 20(3), 567-578.
- Hughes, D. S., & Laje, P. (2024). Fetal intervention for cervical lymphatic malformations. *Fetal Diagn Ther*, 51(2), 89-101.
- Kim, J. H., et al. (2018). Surgical outcomes of cervical lymphatic malformations. *J Pediatr Surg*, 53(5), 987-992.
- Kim, S. H., et al. (2019). Surgical management of macrocystic lymphatic malformations. *J Pediatr Surg*, 54(11), 2345-2350.
- Lee, H., et al. (2020). Fetal cervical lymphatic malformations: A case series. *Fetal Pediatr Pathol*, 39(4), 312-319.
- Lobo, J., et al. (2020). Fetal cervical lymphatic malformations: Prenatal diagnosis and outcomes. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 56(4), 542-550.
- Martín-Solé, O., et al. (2023). 3D printing and augmented reality for fetal surgical planning. *Prenat Diagn*, 43(9), 1123-1132.
- Miyasaka, T., et al. (2025). Computational modeling of airway compression in fetal cervical lymphatic malformations. *Biomech Model Mechanobiol*, 24(3), 891-905.
- Nomura, K., et al. (2022). Fetoscopic sclerotherapy for cervical lymphatic malformation. *J Pediatr Surg Case Rep*, 78, 102178.
- Page, M. J., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement. *BMJ*, 372, n71.
- Palep, J. H., et al. (2022). Augmented reality in fetoscopic surgery. *J Minim Access Surg*, 18(4), 521-528.
- Pérez-Cruz, M., et al. (2024). Prognosis of fetal cervical lymphatic malformations. *Am J Obstet Gynecol MFM*, 6(3), 101289.
- Rodriguez, R., et al. (2023). Swallowing dysfunction after surgical treatment of cervical lymphatic malformations. *Dysphagia*, 38(5), 1289-1298.



Valsky, D. V., et al. (2021). Fetal endoscopic surgery: Indications, techniques, and outcomes. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol*, 70, 67-80.

Wang, H., et al. (2022). Prenatal diagnosis and management of cervical lymphatic malformations. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 35(25), 5123-5129.

Wassef, M., et al. (2015). Vascular anomalies classification: ISSVA 2014 revisions. *Pediatrics*, 136(2), e421-e430.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.