

ARTÍCULO DE REVISIÓN

EXOSCOPIO 3D EN CIRUGÍA OTOLÓGICA Y DE BASE DE CRÁNEO LATERAL. REVISIÓN SISTEMÁTICA

3D Exoscope in Otolaryngology and Lateral Skull Base Surgery. Systematic Review

Mireia QUER-CASTELLS ¹ ; Joan REMACHA-SARDÀ ² ; Gabriel PEDEMONTE-SARRIAS ¹ ; Alberto CODINA-AROCA ² ; Zenaida PIÑEIRO-AGUÍN ^{1,3} ; Francisco LARROSA-DÍAZ ^{1,4} 

¹ Servicio de Otorrinolaringología, Hospital del Mar, Barcelona. España

² Servicio de Otorrinolaringología, Hospital Clínic de Barcelona. España

³ Facultad de Medicina, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona. España

⁴ Departamento de Especialidades Médico-Quirúrgicas, Facultad de Medicina, Universitat de Barcelona. España

Correspondencia: flarrosa@clinic.cat

Fecha de recepción: 2 de noviembre de 2025

Fecha de aceptación: 11 de noviembre de 2025

Fecha de publicación: 27 de noviembre de 2025

Fecha de publicación del fascículo: 24 de diciembre de 2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses

Imágenes: Los autores declaran haber obtenido las imágenes con el permiso de los pacientes

Política de derechos y autoarchivo: se permite el autoarchivo de la versión post-print (SHERPA/RoMEO)

Licencia CC BY-NC-ND. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional

Universidad de Salamanca. Su comercialización está sujeta al permiso del editor

RESUMEN: Introducción y objetivo: El exoscopio 3D se ha introducido en otología y cirugía de base de cráneo como alternativa al microscopio quirúrgico, con potenciales beneficios en visualización, ergonomía y docencia. Sin embargo, la evidencia disponible continúa siendo heterogénea. El objetivo de esta revisión sistemática es sintetizar la literatura publicada sobre el uso del exoscopio en cirugía otológica y de base de cráneo lateral, con especial énfasis en su comparación con el microscopio óptico. Método: Se realizó una revisión sistemática siguiendo la declaración PRISMA 2020. Se consultaron las bases de datos PubMed y Cochrane hasta el 25 de agosto de 2025, utilizando términos MeSH y palabras clave relacionados con *ear surgery*, *otologic surgical procedures* y *exoscope*. Se incluyeron estudios originales en inglés o español realizados en humanos, y se excluyeron reportes de un caso, estudios en cadáveres o simulación, editoriales y estudios no originales. Resultados: De 146 registros identificados, se incluyeron 20 estudios (9 cohortes retrospectivas, 4 cohortes prospectivas y 7 series de casos), con un total de 729 pacientes: 490 operados con exoscopio y 239 con microscopio. Los procedimientos más frecuentes con exoscopio fueron implantes cocleares (42 %), cirugía de oído medio crónico (37,6 %), estapedotomías (12,7 %) y

cirugía de base lateral del cráneo (7 %). Las complicaciones fueron similares entre exoscopio (3,7 %) y microscopio (5,6 %), sin diferencias significativas. Seis estudios compararon resultados auditivos sin encontrar diferencias. En ergonomía, el exoscopio mejoró de forma significativa la puntuación RULA (reducción media del 63,6 %; $p < 0,001$) y redujo la incidencia de dolor cervical. En calidad de imagen, se describió mayor luminosidad y campo visual más amplio en fases iniciales de implantes coclear y estapedotomía, aunque el microscopio resultó superior en campos quirúrgicos estrechos y de gran aumento. Discusión: La evidencia disponible sugiere que el exoscopio ofrece resultados quirúrgicos comparables al microscopio, con ventajas en ergonomía y docencia. La calidad de imagen se percibe superior en implantes cocleares y en fases iniciales de estapedotomía, aunque el microscopio sigue siendo más eficaz en campos estrechos y de gran aumento. Su principal aporte es la mejora ergonómica, con reducción objetiva de la carga musculoesquelética y menor dolor cervical. Limitaciones descritas incluyen menor nitidez en profundidad con pérdida de definición a grandes aumentos y un elevado coste. La curva de aprendizaje es corta, con progresiva reducción del tiempo quirúrgico. Conclusiones: El exoscopio 3D es un sistema de visualización seguro y eficaz en cirugía otológica y de base lateral de cráneo. Ofrece ventajas en ergonomía y visualización en campos abiertos, aunque no sustituye al microscopio. Además, puede representar una herramienta docente de gran utilidad.

PALABRAS CLAVE: exoscopio; otología; base de cráneo lateral; microscopio óptico; ergonomía; cirugía del oído

SUMMARY: Introduction and objective: The 3D exoscope has been introduced in otology and lateral skull base surgery as an alternative to the operating microscope, with potential benefits in ergonomics, teaching, and visualization. However, the available evidence remains heterogeneous. The objective of this systematic review is to synthesize the published literature on the use of the exoscope in otologic and lateral skull base surgery, with particular emphasis on comparisons with the optical microscope. Method: A systematic review was conducted according to the PRISMA 2020 statement. PubMed and Cochrane databases were searched up to August 25, 2025, using MeSH terms and keywords related to ear surgery, otologic surgical procedures, and exoscope. Original studies in English or Spanish involving humans were included, while case reports, cadaveric or simulation studies, editorials, and non-original articles were excluded. Results: Of 146 records identified, 20 studies were included (9 retrospective cohorts, 4 prospective cohorts, and 7 case series), with a total of 729 patients: 490 operated with the exoscope and 239 with the microscope. The most frequent exoscope procedures were cochlear implants (42 %), chronic ear surgery (37.6 %), stapedotomies (12.7 %), and lateral skull base surgery (7 %). Complication rates were similar between exoscope (3.7 %) and microscope (5.6 %) groups, with no significant differences. Six studies compared audiological outcomes, finding no differences. Ergonomic assessment showed a significant improvement in RULA scores (mean reduction 63.6 %; $p < 0.001$) and decreased cervical pain with the exoscope. Image quality was reported as superior in early phases of cochlear implantation and stapedotomy, while the microscope performed better in narrow and high-magnification fields. Discussion: Current evidence suggests that the exoscope provides surgical outcomes comparable to the microscope, with consistent advantages in ergonomics and teaching. Image quality is often perceived as superior in cochlear implantation and initial stapedotomy phases, although the microscope remains superior in deep and narrow fields. Reported limitations include reduced sharpness at high magnification, decreased performance in depth, and high cost. The learning curve is short, with progressive reduction in operative times. Conclusions: The 3D exoscope is a feasible, safe, and effective tool in otologic and lateral skull base surgery. It offers ergonomic and visualization advantages in open surgical fields, though it does not fully replace the microscope. Additionally, it may represent a valuable teaching instrument.

KEYWORDS: exoscope; otology; lateral skull base; operating microscope; ergonomics; ear surgery

INTRODUCCIÓN

El microscopio quirúrgico ha constituido, desde mediados del siglo XX, la herramienta de referencia en otología y cirugía de base de cráneo, gracias a su capacidad de ofrecer una imagen estable y posibilitar la disección bimanual [1]. Sin embargo, su uso exige una alineación constante con los oculares, lo que implica posturas forzadas, riesgo de fatiga musculoesquelética y limitación del campo de visión compartido con el resto del equipo [2]. En la última década han surgido alternativas en forma de exoscopios de alta resolución. Estos sistemas consisten en una cámara montada fuera del campo quirúrgico que proyecta imágenes bidimensionales o tridimensionales en un monitor frontal. La denominada técnica *heads-up* mejora la ergonomía al permitir que el cirujano mantenga una posición neutra de la columna cervical y reduzca la tensión postural [3]. Además, la visualización 3D de alta definición y la posibilidad de combinar *zoom* óptico y digital permiten un campo de trabajo más amplio y una profundidad de campo comparable, mientras que todo el personal de quirófano comparte la misma perspectiva del cirujano, lo que podría favorecer la docencia y la comunicación dentro del quirófano [4].

El uso del exoscopio se inició en neurocirugía y ha sido adoptado progresivamente en otología y neurotología, incluidos procedimientos como mastoidectomías, timpanoplastias, implantaciones cocleares, estapedotomías y cirugías de base lateral del cráneo [5-9]. La literatura disponible indica que la curva de aprendizaje es relativamente corta para cirujanos con experiencia microscópica, y que los principales beneficios se centran en la ergonomía, la libertad del posicionamiento y el potencial educativo [7]. No obstante, persisten limitaciones: la iluminación puede ser insuficiente en áreas profundas, la resolución disminuye a altos aumentos y la percepción de profundidad no alcanza la calidad del microscopio óptico. A ello se suma el elevado coste de los sistemas 3D de alta definición, lo que limita su implementación fuera de centros docentes de gran volumen [8].

En 2022, Chiang y colaboradores [10] publicaron la primera revisión sistemática específica sobre exoscopia en cirugía otológica y neurotológica, identificando seis estudios, únicamente dos comparaban directamente con el microscopio, concluyendo que el exoscopio ofrecía una seguridad, visualización y eficiencia comparable al microscopio quirúrgico con la ventaja potencial de una mayor comodidad; aunque la evidencia era aún limitada. Posteriormente, en 2023, se publicó una revisión centrada en población pediátrica por Gaffuri y colaboradores [11], pero la evidencia seguía siendo limitada en tamaño muestral y heterogénea. Desde entonces, el número de publicaciones ha aumentado notablemente, incorporando estudios de mayor tamaño muestral y evaluando los resultados funcionales y auditivos, ergonomía, costes y utilidad docente en comparación con el microscopio óptico [6, 7, 12]. Este crecimiento de la literatura justifica una actualización de la evidencia disponible. El objetivo de la presente revisión sistemática es sintetizar todos los estudios originales publicados en inglés o español que evalúan el uso del exoscopio en cirugía otológica y neurotológica, con especial énfasis en aquellos que lo comparan directamente con el microscopio quirúrgico convencional.

MATERIAL Y MÉTODO

Se ha realizado una revisión sistemática de la literatura cumpliendo con los puntos presentes en la declaración PRISMA 2020. Se ha realizado una extensa búsqueda bibliográfica en las bases de datos PubMed y Cochrane.

Los términos que se incluyeron en los criterios de búsqueda fueron los siguientes: «*Ear surgery OR Otolologic surgical procedures OR Skull base OR Otology OR otologic OR Neurotology OR otoneurology OR stapedotomy OR stapedectomy OR myringoplasty OR tympanoplasty OR cochlear implant OR mastoid OR mastoidectomy AND (exoscope OR 3D-exoscope OR exoscopes OR exoscopic OR VITOM OR Video-Assisted Telescope Operating Monitor)*».

Se obtuvieron 142 artículos publicados entre 2019 y 2025. La fecha de la búsqueda bibliográfica fue el 25 de agosto de 2025.

Los criterios de inclusión fueron: artículos originales publicados en inglés o español, estudios sobre el uso de exoscopio en cirugías otológicas o neurotológicas exclusivamente, realizadas en humanos. Se excluyeron estudios no originales, artículos sobre entrenamiento quirúrgico virtual o en especímenes de cadáveres, cirugías no otológicas ni de base de cráneo lateral, estudios de un caso, así como editoriales, casos en vídeo, cartas y artículos sin texto completo disponible.

Tras la eliminación de duplicados, dos autores revisaron de forma independiente los artículos y excluyeron aquellos que no cumplían los criterios de inclusión. Posterior a la selección final, se dividieron los artículos en aquellos que utilizaron el exoscopio exclusivamente y aquellos estudios que realizaron un análisis comparativo con el microscopio.

En cuanto a los procedimientos quirúrgicos, se clasificaron en: cirugías de oído medio crónico, estapedotomías, cirugía de base de cráneo lateral e implantes cocleares.

Análisis estadístico descriptivo.

RESULTADOS

Se identificaron 146 estudios según la búsqueda realizada. Tras la eliminación de duplicados, quedaron 143 registros. Se realizó una primera lectura de los resúmenes de los artículos seleccionados y se obtuvieron un total de 45 artículos. Posteriormente, se realizó una lectura del texto completo de los artículos obtenidos y se incluyeron 20 artículos que cumplían los criterios de inclusión. El proceso de selección se resume en el diagrama de flujo PRISMA (Figura 1). De los 20 artículos, 9 fueron estudios cohorte retrospectiva, 4 cohortes prospectiva, 7 estudios de serie de casos. De estos, 13 artículos realizan un estudio descriptivo comparativo entre pacientes operados mediante exoscopio y otro grupo de pacientes operados con microscopio (Tabla 1, Anexo 1).

Se evaluaron un total de 729 pacientes, 490 de ellos operados con exoscopio y 239 exclusivamente con microscopio. Del grupo exoscopio, las principales intervenciones quirúrgicas fueron 7 % (n=36) cirugías de base de cráneo lateral, siendo principalmente resecciones de schwannomas vestibulares (n=13) con múltiples abordajes como transpromontorial (n=1) o translaberíntico (n=8), suboccipital (n=4). Los implantes cocleares fueron 42 % (n=206). Cirugías de oído medio crónico fueron un 37,6 % (n=189), de las cuales 133 fueron timpanoplastias, 8 mastoidectomías simples y 43 timpanoplastias con mastoidectomía. Se realizaron 12,7 % (n=62) estapedotomías o estapedectomías. Los procedimientos restantes (0,7 %) fueron cirugías de oído externo como exéresis de quistes auriculares, epidermoides o canaloplastias.

En cuanto al grupo microscopio óptico; 12,9 % fueron cirugías de base de cráneo lateral (n=32). El 20,2 % fueron implantes cocleares (n=50). Cirugías de oído medio crónico representaron el 53,2 % (n=132); de las cuales 95 fueron timpanoplastias, 4 mastoidectomías simples y 33 timpanoplastias con mastoidectomía. Se realizaron un 12,9 % de estapedotomías o estapedectomías (n=32). Los procedimientos restantes (0,8 %) fueron canaloplastias (n=2).

Los dispositivos usados fueron VITOM 3D (KARL STORZ, Tuttlingen, Alemania) (n=305), ORBEYE (OLYMPUS, Tokio, Japón) (n=126), Brightmatter (BrightMatter Servo, Synaptive Medical, Ontario, Canada) (n=6), Aeos (Braun, Kronberg im Taunus, Alemania) (n=13), Synaptive Modus X Exoscope (Synaptive Medical, Toronto, Canada) (n=31) y RoboticScope 3D (BHS Technologies Ltd., Innsbruck, Austria) (n=9).

De los 490 procedimientos realizados con el exoscopio se reportaron 16 complicaciones menores (3,3 %); 4 casos de disgeusia, 7 inestabilidad, 2 paresias del nervio facial recuperadas posteriormente, 1 parálisis de cuerda vocal derecha y 2 fistulas de líquido cefalorraquídeo reparadas en el mismo acto quirúrgico. En cuanto al grupo

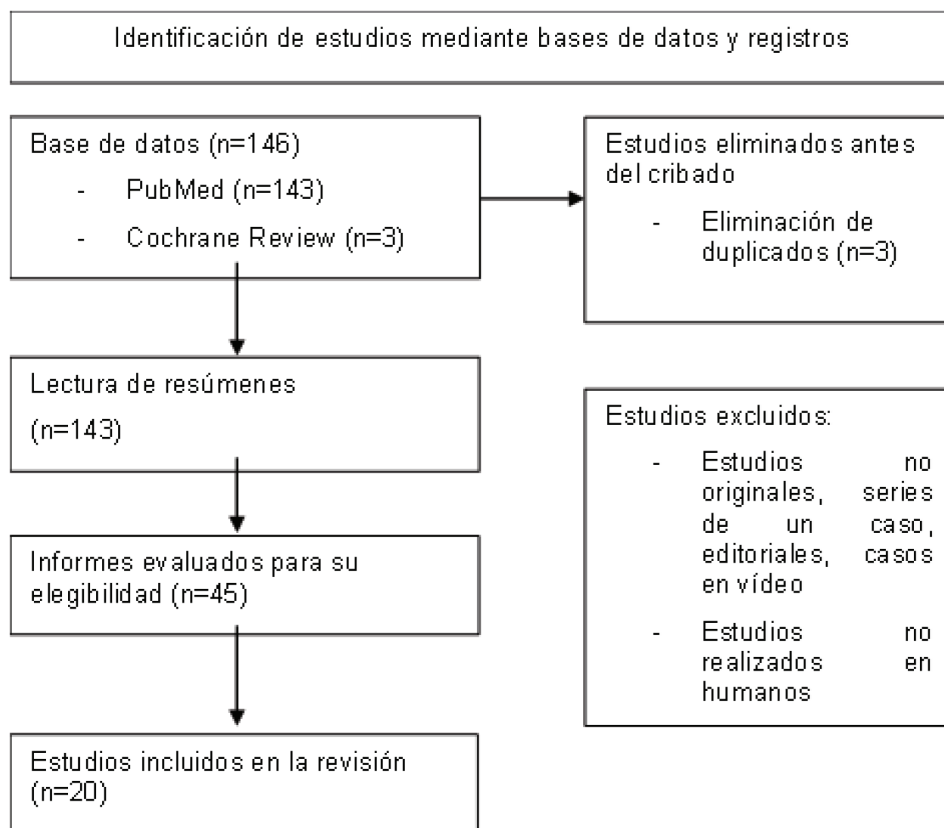


Figura 1. Exoscopio 3D en cirugía otológica y de base de cráneo lateral. Diagrama de flujo PRISMA

microscopio, se reportaron 14 complicaciones menores de 248 procedimientos (5,6 %); 4 casos de disgeusia, 7 inestabilidad, 1 dehiscencia de injerto de cartilago de la membrana timpánica, 1 exposición de duramadre de fosa media y 1 lesión de seno sigmoide. En ninguno de los estudios encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos.

Se evaluaron los resultados auditivos en comparación con el microscopio en 6 estudios sin encontrar diferencias entre grupos.

En los estudios que evaluaron calidad de imagen y visualización, el exoscopio mostró un campo visual más amplio y mejor iluminación

que el microscopio en cirugía de schwannoma vestibular e implante coclear. La superioridad fue más evidente durante la inserción del implante (87,5 % de los cirujanos reportaron mayor luminosidad en la ventana redonda) y en fases iniciales de estapedotomía; sin embargo, en fases finales (platinotomía y colocación de prótesis) el microscopio ofreció mejor visibilidad. Globalmente, la calidad de imagen se valoró como mejor en el 48 % de los procedimientos, comparable en el 19,7 % e inferior en el 32,3 %, sin alcanzar significación estadística ($p = 0,4884$) [13-16]. En ergonomía, el exoscopio redujo la necesidad de cambios posturales y mejoró de forma objetiva la puntuación

RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) en un 63,6 % ($p < 0,001$), con menores valores en brazo, cuello y tronco. Subjetivamente, el dolor cervical fue 4,6 veces más frecuente tras cirugías con microscopio, mientras que en implante coclear con exoscopio no se reportaron molestias cervicales ni de escalares [14-17].

En 4 estudios se realizó conversión de exoscopio al microscopio en 10 casos de 490 cirugías. En 4 casos se realizó el cambio por no disponer de material (gafas compatibles con láser KTP) [18]; 4 casos por mala visualización en campo quirúrgico estrecho y necesidad de trabajar con gran aumento, un caso de resección de glomus timpánico, 1 caso de dehiscencia del bulbo de la yugular y 2 casos de timpanoplastia por colesteatoma [13, 19]. 1 caso por defecto del dispositivo, 1 caso por preferencia del cirujano ante hallazgo de anatomía aberrante del nervio facial [20].

En 14 estudios evaluaron el tiempo quirúrgico entre los procedimientos realizados con el exoscopio y el microscopio [8, 13, 16, 18, 21-29]. En 11 de 14 artículos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. En el estudio de Crimi y colaboradores [16] se observó un tiempo quirúrgico inferior al microscopio en los implantes cocleares ($p = 0,007$). En 2 estudios el exoscopio mostró un tiempo significativamente superior; el tiempo quirúrgico y de preparación aumentó un 20 %, el desmontaje un 47.2 % [15, 24]. No obstante, los resultados mostraron la presencia de una curva de aprendizaje con disminución progresiva del tiempo [24]. Al final del estudio, los tiempos de cirugía del grupo exoscopio se acercaban a los resultados obtenidos con el microscopio.

DISCUSIÓN

Se ha realizado una revisión de la literatura con una evaluación de 20 artículos desde 2019 al 2025. Desde la descripción inicial del uso del exoscopio en otología por parte de Minoda y Miwa [9] en 2019, quienes presentaron dos casos de pacientes

con colesteatoma operados de mastoidectomía mediante exoscopio con buen resultado. Posteriormente, se han publicado varios estudios de un caso o serie de casos y cohortes que han aumentado en los últimos años, incrementando el tamaño muestral y se han comparado los resultados con el microscopio óptico.

En los estudios que analizaron la calidad de imagen y visualización, se observó que la calidad de la imagen fue similar o en algunos casos considerados como superior [15, 16].

Durante la cirugía de schwannoma vestibular, la claridad de la imagen y la profundidad de campo fueron consideradas superiores en la mayoría de los parámetros evaluados, salvo en la fase de la laberintectomía, donde no se observaron ventajas claras. En el caso de los implantes cocleares, la visualización con exoscopio fue valorada como superior en todos los aspectos analizados. De manera específica, un 87,5 % de los cirujanos refirió una imagen más luminosa y con un campo de visión más amplio en la región de la ventana redonda durante la inserción del implante coclear, en comparación con el microscopio. En la serie de 28 casos de implantes cocleares de Rusestky y colaboradores [14], se puntuó la calidad de imagen global con un 4,8 en la escala de Likert. La puntuación bajaba ligeramente cuando se evaluó la iluminación durante la fase de trabajo de la timpanotomía posterior. Esto concuerda con la literatura, que sugiere una pérdida en la calidad de la imagen durante procedimientos que requieren profundidad y campo quirúrgico estrecho [6, 8].

En cuanto a las estapedotomías, Wierzbicka y colaboradores [13] dividieron las cirugías por fases, en el que las primeras fases que corresponden antes del trabajo con la ventana oval, el exoscopio proporcionó una mejor visibilidad del campo quirúrgico con diferencias estadísticamente significativas. Por el contrario, en las fases finales, que incluyen la exéresis de la supraestructura, la platinotomía y colocación de prótesis, el microscopio mostró una visibilidad significativamente superior.

Los estudios que evaluaron la ergonomía [14-17] coincidieron en que la visualización en pantalla frontal con exoscopio resultó más cómoda y redujo la necesidad de cambios posturales, tanto en cirugía de schwannoma vestibular (100 %) como de implante coclear (70,8 %). De forma objetiva, la escala RULA mostró una mejoría significativa con el uso del exoscopio frente al microscopio en ambos procedimientos quirúrgicos ($p < 0,001$), con una reducción promedio del 63,6 % en la puntuación RULA. El análisis por áreas corporales confirmó menores valores en brazo, muñeca, cuello, tronco y extremidades inferiores. Subjetivamente, el dolor cervical postoperatorio fue 4,6 veces mayor tras operar con microscopio, y el dolor de hombro también fue más frecuente en cirugía de schwannoma vestibular. En las intervenciones de implante coclear, los cirujanos no reportaron dolor cervical, dorsal ni de hombros al emplear el exoscopio.

Uno de los beneficios más consistentes del exoscopio es la mejora ergonómica. La visualización en pantalla frontal y la libertad de movimiento del cuello permiten al cirujano trabajar con una postura más natural, reduciendo la flexión cervical prolongada propia del microscopio. Estudios con escalas objetivas como la RULA han demostrado reducciones significativas de la carga musculoesquelética, especialmente en cuello, tronco y miembros superiores, junto con una menor incidencia de dolor postoperatorio [16]. Estos resultados adquieren relevancia considerando que más del 70 % de los otorrinolaringólogos refieren algún grado de dolor cervical o dorsal asociado al uso prolongado del microscopio.

Se realizaron diversos estudios con estudiantes de medicina y residentes de otorrinolaringología que observaron cirugías otológicas realizadas con microscopio y con exoscopio, así como cirugías de cabeza y cuello. La claridad subjetiva de la imagen fue significativamente superior con el exoscopio, así como con la percepción de profundidad y mejor comprensión de la anatomía del oído medio tras visualizar una cirugía con exoscopio. Estos

resultados sugieren que el exoscopio puede ser una herramienta de gran utilidad para la docencia [29, 30].

Las limitaciones técnicas incluyen la menor calidad de imagen en campos reducidos, la pérdida de nitidez con grandes aumentos y la interferencia del sangrado intraoperatorio. La curva de aprendizaje es otro factor relevante: aunque los tiempos quirúrgicos no difieren de manera significativa en la mayoría de los estudios, se ha descrito una reducción progresiva con la experiencia, con acortamientos de entre 7 y 29 minutos en las últimas intervenciones respecto a las primeras [20]. El coste constituye también una limitación; mientras que los sistemas exoscópicos completos alcanzan aproximadamente 120.000 €, los microscopios convencionales se sitúan en torno a 47.000 € [31]. Este sobrecoste podría justificarse en centros de alto volumen y perfil docente, donde los beneficios ergonómicos y educativos compensarían la inversión inicial. Sin embargo, en la mayoría de los hospitales, el exoscopio representa actualmente un gasto adicional y una herramienta complementaria, más que un sustituto del microscopio. Se requieren estudios que determinen su coste-efectividad.

CONCLUSIONES

En conclusión, esta revisión sugiere que la aplicación del exoscopio 3D es factible, segura y eficaz en el tratamiento quirúrgico de diversas patologías otológicas, incluyendo oído externo, oído medio, mastoides y base de cráneo lateral. Puede ofrecer ventajas respecto al microscopio en ergonomía y visualización, especialmente en campos quirúrgicos abiertos, aunque no lo sustituiría por completo. Asimismo, sería una herramienta docente de gran utilidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Wullstein HL. Functional operations in the middle ear with split-thickness skin graft. Arch Otorhinolaryngol. 1956;167:19-35.

2. Lin ME, Zhou S, Kakeheta S, Ito T, Shibata SB. Ergonomics of Various Modalities for Ear Surgery. *OTO Open*. 2024;8:e162, <https://doi.org/10.1002/oto2.162>.
3. Krishnan KG, Scholler K, Uhl E. Application of a Compact High-Definition Exoscope for Illumination and Magnification in High-Precision Surgical Procedures. *World Neurosurg*. 2017;97:652-660, <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.09.037>.
4. Ricciardi L, Chaichana KL, Cardia A, Stifano V, Rossini Z, Olivi A, Sturiale CL. The exoscope in neurosurgery: An Innovative "Point of View". A Systematic Review of the Technical, Surgical, and Educational Aspects. *World Neurosurg*. 2019;124:136-144, <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.12.202>.
5. Mamelak AN, Nobuto T, Berci G. Initial clinical experience with a high-definition exoscope system for microneurosurgery. *Neurosurgery*. 2010;67:476-83, <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000372204.85227.BF>.
6. Smith S, Kozin ED, Kanumuri VV, Barber SR, Backous D, Nogueira JF, Lee DJ. Initial experience with 3-Dimensional Exoscope-Assisted Transmastoid and Lateral Skull Base Surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2019;160:364-7, <https://doi.org/10.1177/0194599818816965>.
7. Garneau JC, Laitman BM, Cosetti MK, Wanna GB. The use of the exoscope in lateral skull base surgery: Advantages and Limitations. *Otol Neurotol*. 2019;40:236-40, <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002095>.
8. Rubini A, Di Gioia S, Marchioni D. 3D exoscopic surgery of the lateral skull base. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2020;277:687-94, <https://doi.org/10.1007/s00405-019-05736-7>.
9. Minoda R, Miwa T. Non-microscopic Middle Ear Cholesteatoma Surgery: A Case Report of a Novel Head-Up Approach. *Otol Neurotol*. 2019;4:777-781, <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002276>.
10. Chiang H, Ledbetter L, Kaylie DM. Systematic Review of Otolgic and Neurologic Surgery Using the 3-dimensional Exoscope. *Otol Neurotol Open*. 2022;2:e024, <https://doi.org/10.1097/ONO.000000000000024>.
11. Gaffuri M, di Lullo AM, Trecca EMC, et al. High-Definition 3D Exoscope in Pediatric Otorhinolaryngology: A Systematic Literature Review. *J Clin Med*. 2023;12:6528, <https://doi.org/10.3390/jcm12206528>.
12. Di Bari M, Colombo G. Exoscope-Assisted Surgery in Otolgy and Neurology. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2024;32:301-5, <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000001000>.
13. Wierzbicka M, Szyfter W, Greczka G, Gawęcki W. Otosurgery with the High-Definition Three-Dimensional (3D) Exoscope: Advantages and Disadvantages. *J Clin Med*. 2021;10:777, <https://doi.org/10.3390/jcm10040777>.
14. Rusetsky Y, Chuchueva N, Meytel I, Malyavina U, Farikov S. Exoscopic visualisation with VITOM® 3D in paediatric cochlear implantation: Preliminary results. *Clin Otolaryngol*. 2022;47:741-745, <https://doi.org/10.1111/coa.13902>.
15. Karinen E, Iso-Mustajärvi M, Dietz A. The Feasibility of the Three-Dimensional Footswitch-Operated Robotic Arm Exoscope for Cochlear Implant Surgery. *Otol Neurotol*. 2023;44:786-790, <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003952>.
16. Crimi N, Spiegel JL, Ungar OJ, et al. The 3D-Robotic Exoscope Compared With the Microscope in Cochlear Implant and Translabyrinthine Surgery. *Laryngoscope*. 2025;135:2564-2573, <https://doi.org/10.1002/lary.32104>.
17. Ajmera A, Campbell RG, Lee JWY, McGinness SJ, Mukherjee P. Ergonomics of 3D-Exoscope Versus the Operating Microscope in Otolgic Surgery. *ANZ J Surg*. 2025, <https://doi.org/10.1111/ans.70278>.
18. Sooriyamoorthy T, Salau E, Ghunaim M, Vijendren A. The VITOM-3D exoscope as an alternative to the operating microscope for major ear surgery: A retrospective case-controlled study. *Clin Otolaryngol*. 2024;49:353-358, <https://doi.org/10.1111/coa.14147>.
19. Zhang BY, Ho VW, Tsai TY, Chan KC. An early report of exoscope-assisted otologic surgery. *J Chin Med Assoc*. 2023;86:523-528, <https://doi.org/10.1097/JCMA.0000000000000907>.
20. Keane E, Bhargava E, Claerhout M, et al. New Frontiers in Pediatric Cochlear Implant Surgery

- A Single Center Experience with the 3-Dimensional Exoscope. *J Int Adv Otol.* 2024;20:379-382, <https://doi.org/10.5152/iao.2024.231240>.
21. Conway RM, Fan CJ, Choi JS, Babu K, Mallany HP, Babu SC. Exoscope-Assisted Stapedotomy: Evaluation of Safety and Efficacy. *Otol Neurotol.* 2023;44:978-982, <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000004042>.
22. Fan CJ, Fritz CG, Lucas JC, Conway RM, Kato MG, Babu SC. Outcomes After Exoscopic Versus Microscopic Type 1 Tympanoplasty. *Otol Neurotol.* 2024;45:671-675, <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000004220>.
23. Fan CJ, Lucas JC, Conway RM, Kato MG, Babu SC. Outcomes After Exoscopic Versus Microscopic Ossicular Chain Reconstruction. *Otol Neurotol.* 2024;45:1135-1142, <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000004326>.
24. Tao HY, Morgenstern J, Müller C, et al. Prospective study of the application of a 3D exoscope system (VITOM 3D) in ear surgery compared to conventional surgical microscopes: part I - analysis of objective parameters. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2025;282:2263-2274, <https://doi.org/10.1007/s00405-024-09096-9>.
25. Colombo G, Ferreli F, Di Bari M, et al. Introducing the High-definition 3D exoscope in ear surgery: preliminary analysis of advantages and limits compared with operative microscope. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2021;278:4217-4223, <https://doi.org/10.1007/s00405-020-06510-w>.
26. Zhang H, Wang G, Zhang X, et al. Clinical Application of the 4K-3D Exoscope System in Cochlear Implantation. *Otol Neurotol.* 2024;45:521-528, <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000004184>.
27. Lee JW, Kim J, Kim H, Kong SK, Choi SW, Oh SJ. Comparison of the 3D-Exoscope and Operating Microscope in Mastoidectomy. *Otol Neurotol.* 2024;45:410-414, <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000004138>.
28. Kimura H, Nibu KI, Furukawa T, et al. Clinical Impact of Using an Exoscope in En Bloc Subtotal Temporal Bone Resection for Advanced Ear Cancer. *Head Neck.* 2025. <https://doi.org/10.1002/hed.28233>.
29. De Virgilio A, Costantino A, Ebm C, et al. High definition three-dimensional exoscope (VITOM 3D) for microsurgery training: a preliminary experience. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2020;277:2589-2595, <https://doi.org/10.1007/s00405-020-06014-7>.
30. Tu NC, Doerfer K, Costeloe A, Sioshansi PC, Babu S. Educational Benefit of the Three-Dimensional Exoscope Versus Operating Microscope in Otologic Surgery. *Otol Neurotol.* 2024;45:150-153, <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000004066>.
31. Milanesi U, Pasquariello B, Saibene AM, Felisati G, Atac M, Corbetta D. Three-dimensional exoscope-assisted laser stapedotomy: a preliminary experience. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2021;278:4593-4598, <https://doi.org/10.1007/s00405-021-06672-1>.
32. Kanzaki S, Takahashi S, Toda M, Yoshida K, Ogawa K. Pros and Cons of the Exoscope for Otologic Surgery. *Surg Innov.* 2021;28:360-365, <https://doi.org/10.1177/1553350620964151>.

ANEXO 1

Tabla 1. Exoscopio 3D en cirugía otológica y de base de cráneo lateral. Estudios incluidos en la revisión

Autores, año	Cita	País	Tipo de estudio	N Ex	N MO	Exoscopio	Tipo de cirugía	Complicaciones
Gameau et al., 2019	[7]	EUA	Serie de casos	12	12	VITOM 3D	6 BCL (4 craneotomías suboccipitales, 2 reparación de encefalocele (lóbulo temporal))	1 paresia facial y 1 fistula LCR
Smith et al., 2019	[6]	EUA	Serie de casos	6			6 OMC (4 mastoidectomías, 2 timpanoplastias) 3 BCL (2 craneotomías suboccipitales, 1 petrosectomía subtotal) 2 IC	
Rubini et al., 2020	[8]	Italia	Cohorte retrospectiva	11		VITOM 3D y ORBEYE	Ex: 12 BCL (1 infratemporal, 1 transcanal, 1 translaberintico, 5 petrosectomías subtotales, 2 retrolaberinticos, 1 fosa craneal media, 1 transcoclear) MO: 12 BCL (1 infratemporal, 1 transcanal, 1 translaberintico, 5 petrosectomía subtotal, 2 retrolaberinticos, 1 fosa craneal media, 1 transcoclear)	Ex: 1 parálisis de cuerda vocal
Kanzaki et al., 2021	[32]	Japón	Serie de casos	6		Brightmatter	5 OMC (timpanoplastias) 1 IC	
Milanesi et al., 2021	[31]	Italia	Cohorte retrospectiva	7	7	VITOM 3D	Ex: 7 Estapedotomías MO: 7 Estapedotomías	
Wierzbicka et al., 2021	[13]	Polonia	Serie de casos	60		VITOM 3D	30 OMC (timpanoplastias) 30 estapedotomías	
Colombo et al., 2021	[25]	Italia	Cohorte retrospectiva	13	13	VITOM 3D	Ex: 11 OMC (9 timpanoplastias con mastoidectomía, 1 mastoidectomía, 1 timpanoplastia), 2 IC MO: 11 OMC (9 timpanoplastias con mastoidectomía, 1 mastoidectomía, 1 timpanoplastia), 2 IC	Ex: 1 fistula LCR
Rusetsky et al., 2022	[14]	Rusia	Serie de casos	28		VITOM 3D	28 IC	
Conway et al., 2023	[21]	EUA	Cohorte retrospectiva	22	24	ORBEYE	Ex: 22 estapedotomías MO: 24 estapedotomías	Ex: 4 disgeusia, 6 inestabilidad, 1 paresia facial MO: 4 disgeusia y 6 inestabilidad
Zhang et al., 2024	[26]	Taiwán	Serie de casos	16		VITOM 3D	10 OMC (timpanoplastia con mastoidectomía), 3 estapedotomías, 2 BCL (petrosectomía subtotal), 1 quiste auricular, 1 quiste epidermoide	

EXOSCOPIO 3D EN CIRUGÍA OTOLÓGICA Y DE BASE DE CRÁNEO LATERAL. REVISIÓN SISTEMÁTICA
 QUER-CASTELLS M, REMACHA-SARDÀ J, PEDEMONTE-SARRIAS G ET AL.

Autores, año	Cita	País	Tipo de estudio	N Ex	N MO	Exoscopio	Tipo de cirugía	Complicaciones
Karinen et al., 2023	[15]	Finlandia	Cohorte retrospectiva	13	13	Aeos	Ex: 13 IC MO: 13 IC	Ex: 1 exposición de duramadre de fosa media
Lee et al., 2024	[27]	Corea del Sur	Cohorte prospectiva	12	12	VITOM 3D	Ex: 12 OMC (timpanoplastia con mastoidectomía) MO: 12 OMC (timpanoplastia con mastoidectomía)	
Tao et al., 2025	[24]	Alemania	Cohorte prospectiva	31	31	VITOM 3D	Ex: 21 OMC (timpanoplastia), 10 IC MO: 21 OMC, 10 IC	
Fan et al., 2024	[22]	EUA	Cohorte retrospectiva	36	35	ORBEYE	Ex: 36 OMC (timpanoplastia) MO: 35 OMC (timpanoplastia)	
Fan et al., 2024	[23]	EUA	Cohorte retrospectiva	30	30	ORBEYE	Ex: 30 OMC (timpanoplastia) MO: 30 OMC (timpanoplastia)	Ex: 1 inestabilidad, 1 dehiscencia de injerto de cartilago MO: 1 inestabilidad, 1 dehiscencia de injerto de cartilago
Keane et al., 2024	[20]	Reino Unido	Serie de casos	121		VITOM 3D	121 IC	
Sooriyamoorthy et al., 2024	[18]	Reino Unido	Cohorte retrospectiva	20	20	VITOM 3D	Ex: 20 OMC (12 timpanoplastia con mastoidectomía, 8 timpanoplastia) MO: 20 OMC (12 timpanoplastia con mastoidectomía, 8 timpanoplastia)	MO: 1 exposición de duramadre de fosa media y 1 lesión de seno sigmoide
Crimi et al., 2025	[16]	Canadá	Cohorte prospectiva	31	27	Synaptive Modus X Exoscope	Ex: 7 BCL (translaberíntico), 24 IC MO: 5 BCL (translaberíntico), 22 IC	
Ajmera et al., 2025	[17]	Australia	Cohorte prospectiva	9	9	RoboticScope 3D	Ex: 3 OMC (mastoidectomía), 5 IC, 1 canaloplastia MO: 3 OMC (mastoidectomía), 3 IC, 1 estapedotomía, 2 canaloplastia	
Kimura et al., 2025	[28]	Japón	Cohorte retrospectiva	6	15	ORBEYE	Ex: 6 BCL (resección subtotal del hueso temporal) MO: 15 BCL (resección subtotal del hueso temporal)	

Ex: Exoscopio; MO: Microscopio óptico; BCL: Base de cráneo lateral; OMC: Otitis media crónica; IC: Implante coclear; LCR: Líquido cefalorraquídeo