



Julio-Septiembre 2026  
Vol. 4, núm. 3 / pp. 215-221

Recibido: 08 de Diciembre de 2025  
Aceptado: 19 de Febrero de 2026

doi: 10.35366/122791



# Planeación preoperatoria de la colocación de tornillos pediculares usando herramientas accesibles: ¿se puede lograr alta precisión sin altos costos?

*Preoperative planning of pedicle screw placement using accessible tools: can high accuracy be achieved without high costs?*

Ramón Quintanilla Loredo,<sup>\*,†</sup> Óscar Armando Martínez Gutiérrez,<sup>\*,§</sup>  
Pedro Martín Reyes Fernández,<sup>\*,¶</sup> Héctor Noé Guadalupe Silva Ramos,<sup>\*,||</sup>  
Víctor Abraham Alcántar Domínguez,<sup>\*,\*\*</sup> Diego González Caballero,<sup>††</sup>  
Víctor Manuel Peña Martínez<sup>\*,§§</sup>

**Palabras clave:**  
tornillos pediculares,  
planeación preoperatoria,  
imagen 3D, cirugía de  
columna, columna lumbar,  
columna torácica.

**Keywords:**  
*pedicle screws, preoperative  
planning, 3D imaging,  
spine surgery, lumbar  
spine, thoracic spine.*

\* Servicio de Ortopedia y  
Traumatología del Hospital  
Universitario "Dr. José Eleuterio  
González", Universidad Autónoma  
de Nuevo León. México.

† ORCID: 0000-0002-3996-5841

§ ORCID: 0000-0002-1846-5872

¶ ORCID: 0009-0006-8576-9151

|| ORCID: 0009-0006-9524-2177

\*\* ORCID: 0009-0000-3359-2522

†† Facultad de Medicina de  
la Universidad Autónoma de  
Nuevo León. México. ORCID:  
0009-0009-6363-3685

§§ ORCID: 0000-0003-2924-1329

**Correspondencia:**  
**Dr. Ramón Quintanilla Loredo**  
**E-mail:**  
quintanillaloredoy@yahoo.com

## RESUMEN

**Introducción:** la instrumentación toracolumbar exige alta precisión, que es difícil de asegurar sólo con referencias anatómicas. La navegación con equipos de imagen intraoperatoria se ve limitada por sus costos o no disponibilidad, ante esto la planeación digital preoperatoria surge como una alternativa a estos equipos. **Objetivos:** evaluar la precisión clínica y radiográfica de la colocación de tornillos pediculares en cirugía toraco-lumbar guiada mediante la comparación de los parámetros establecidos en la planeación digital con una aplicación digital y los resultados obtenidos postoperatorios. **Material y métodos:** estudio observacional, retrospectivo de 120 pacientes (810 tornillos). Se realizó planeación preoperatoria midiendo diámetro, longitud y angulación ideal mediante una aplicación digital: *3D Slicer*. Se evaluó la precisión postoperatoria mediante tomografía computarizada y se analizó la correlación entre las medidas planificadas y las ejecutadas. **Resultados:** se incluyeron un total de 120 pacientes (810 tornillos), de los cuales 81 fueron hombres (67.5%). La edad promedio fue de  $47.1 \pm 19.3$  años. La correlación de Spearman, en el caso del diámetro obtuvo un coeficiente de correlación de 0.855 ( $p < 0.001$ ), mientras que para la longitud fue de 0.789 ( $p < 0.001$ ). La angulación coronal presentó 0.966 ( $p < 0.001$ ) y la angulación sagital 0.952 ( $p < 0.001$ ). **Conclusión:** la planeación preoperatoria con la aplicación digital permite la colocación de tornillos transpediculares con una tasa de precisión comparable a otros métodos de navegación, siendo segura y costo-efectiva.

**Nivel de evidencia:** II.

## ABSTRACT

**Introduction:** thoracolumbar instrumentation requires high precision, which is difficult to ensure using anatomical references alone. Navigation systems based on intraoperative imaging are often limited by

**Citar como:** Quintanilla LR, Martínez GÓA, Reyes FPM, Silva RHNG, Alcántar DVA, González CD et al. Planeación preoperatoria de la colocación de tornillos pediculares usando herramientas accesibles: ¿se puede lograr alta precisión sin altos costos? *Cirugía de Columna*. 2026; 4 (3): 215-221. <https://dx.doi.org/10.35366/122791>



their high cost or lack of availability; therefore, digital preoperative planning has emerged as an accessible alternative. **Objectives:** to evaluate the clinical and radiographic accuracy of pedicle screw placement in thoracolumbar surgery by comparing the parameters established during digital preoperative planning with a dedicated application and the postoperative results. **Material and methods:** observational, retrospective study of 120 patients (810 screws). Preoperative planning was performed to determine the ideal diameter, length, and angulation using a digital application: 3D Slicer. Postoperative accuracy was assessed through computed tomography, and the correlation between planned and executed measurements was analyzed. **Results:** a total of 120 patients (810 screws) were included, of whom 81 were men (67.5%). The mean age was  $47.1 \pm 19.3$  years. Spearman's correlation for diameter showed a coefficient of 0.855 ( $p < 0.001$ ), while length demonstrated 0.789 ( $p < 0.001$ ). Coronal angulation showed 0.966 ( $p < 0.001$ ), and sagittal angulation showed 0.952 ( $p < 0.001$ ). **Conclusions:** preoperative planning with a digital application enables transpedicular screw placement with an accuracy rate comparable to that of other navigation methods, while remaining safe and cost-effective.

**Level of evidence:** II.

#### Abreviaturas:

PLIF = *Posterior Lumbar Interbody Fusion* (fusión lumbar intersomática posterior)

TLIF = *Transforaminal Lumbar Interbody Fusion* (fusión lumbar intersomática transforaminal)

## INTRODUCCIÓN

La instrumentación con tornillos pediculares se ha consolidado como el estándar de oro para la estabilización de la columna toracolumbar en patologías traumáticas, degenerativas, infecciosas y deformidades.<sup>1-4</sup> Esta técnica ofrece una fijación rígida que facilita la artrodesis, la recuperación funcional del paciente y mejora los resultados clínicos a largo plazo.<sup>5</sup> Sin embargo, su efectividad y seguridad dependen de la precisión en la colocación del implante dentro del pedículo y cuerpo vertebral; errores en la angulación, longitud o diámetro pueden resultar en complicaciones, incluyendo lesiones medulares o radicales, eventos vasculares y fallas mecánicas.<sup>6,7</sup>

Históricamente la técnica “manos libres” usando puntos de referencia ha sido la norma, lo que ha resultado en tasas de precisión variables. Como solución a esto, se han desarrollado tecnologías intraoperatorias avanzadas como la navegación quirúrgica, la fluoroscopia tridimensional y la cirugía asistida por robot.<sup>8-14</sup> Estas herramientas permiten guiar la colocación del tornillo en tiempo real con márgenes de error más bajos.<sup>10</sup> Su implementación implica elevados costos de adquisición y mantenimiento, así como requerimientos de infraestructura especializada, lo que limita su disponibilidad a centros de alto nivel y restringe su acceso a la mayoría de los hospitales públicos.<sup>8,10</sup>

Debido a estas limitantes, la planificación preoperatoria mediante aplicaciones gratuitas ha surgido como

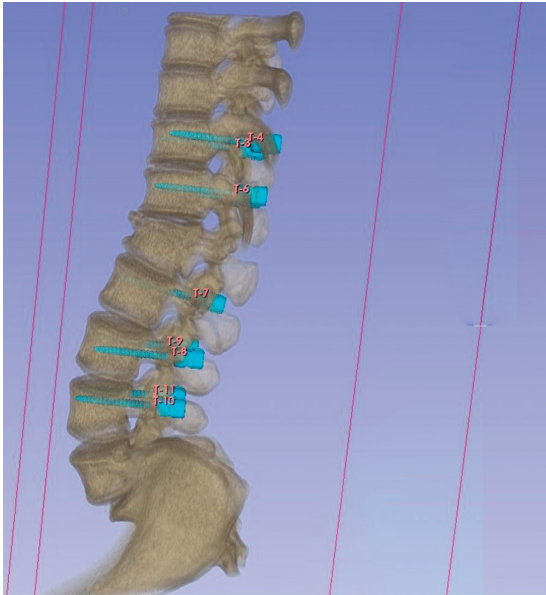
una alternativa prometedora.<sup>14,15</sup> Estas herramientas digitales permiten al cirujano visualizar la anatomía tridimensional, realizar mediciones pediculares y simular trayectorias sin los costos de los sistemas de navegación intraoperatoria. A pesar de su disponibilidad, es necesario validar si la transferencia de esta planificación virtual a la ejecución quirúrgica real ofrece márgenes de seguridad aceptables. Ante este escenario, surge la siguiente interrogante: ¿es posible alcanzar tasas de precisión en la colocación de tornillos pediculares comparables a los estándares internacionales utilizando herramientas de planificación digital de libre acceso sin incurrir en altos costos?

El objetivo del presente estudio es evaluar la precisión clínica y radiográfica de la colocación de tornillos pediculares guiada por planeación digital con *software* accesible, comparando los parámetros planificados con los resultados postoperatorios.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Es un estudio de tipo observacional, retrospectivo, transversal y descriptivo en un hospital de tercer nivel. El protocolo fue aprobado previamente por el Comité de Ética en Investigación de nuestra institución. Se revisaron los expedientes clínicos y estudios de imagen de pacientes atendidos entre marzo de 2023 y marzo de 2025.

Se incluyeron pacientes mayores de 18 años sometidos a instrumentación toracolumbar mediante tornillos transpediculares con patología traumática, degenerativa, infecciosa o tumoral. Se excluyeron aquellos con expedientes incompletos o estudios de imagen insuficientes para las mediciones. Se analizó una muestra total de 120 pacientes que cumplieron con los criterios de selección.



**Figura 1:** Planeación preoperatoria mediante el software 3D Slicer, donde se observa la colocación de tornillos pediculares.

Como parte del protocolo institucional, todos los pacientes incluidos contaban con una tomografía computarizada preoperatoria. Las imágenes DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) fueron procesadas en el *software* de código abierto 3D Slicer (versión 4.11) para realizar la planeación quirúrgica, determinando de manera preoperatoria el diámetro, la longitud y la trayectoria ideal de cada tornillo pedicular (*Figura 1*).

Posteriormente, todos los pacientes fueron sometidos a instrumentación toracolumbar según la planeación establecida. La precisión de la colocación de los tornillos se evaluó mediante tomografía computarizada postoperatoria en la totalidad de los casos. Las mediciones obtenidas en el estudio postoperatorio fueron comparadas con los parámetros planificados previamente para el análisis de la concordancia entre la planeación y la ejecución quirúrgica (*Figura 2*).

Los datos fueron analizados con el *software* SPSS versión 25.0. Se utilizó la prueba de Wilcoxon para comparar las diferencias entre la planeación y la ejecución; y el coeficiente de Spearman ( $r$ ) para determinar la correlación. Un valor de  $p < 0.05$  se consideró significativo.

## RESULTADOS

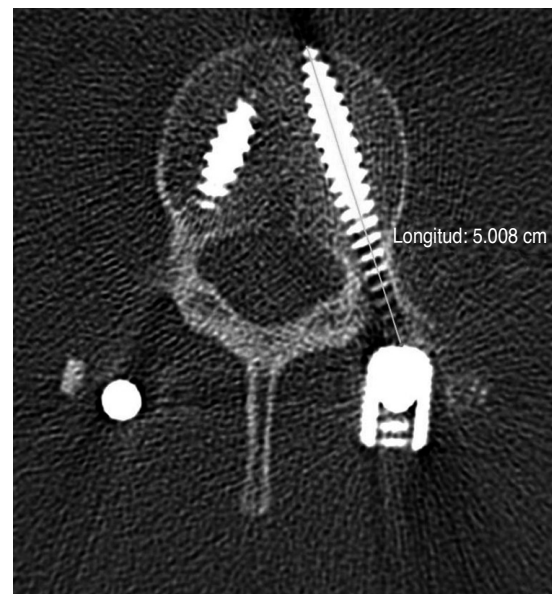
Se incluyeron en el estudio un total de 120 pacientes sometidos a cirugía de columna toracolumbar ins-

trumentada, en los cuales se colocaron 810 tornillos pediculares. La muestra estuvo compuesta por 81 hombres (67.5%) y 39 mujeres (32.5%), con una edad media de  $47.1 \pm 19.3$  años (rango 18-87 años). La etiología predominante fue la traumática en 57 casos (47.5%), seguida de la enfermedad degenerativa en 42 casos (35%), infecciosa en 18 (15%) y oncológica en tres (2.5%). Respecto a los niveles vertebrales instrumentados, se registraron 51 para el nivel L4, 48 para el nivel L5 y 45 para el nivel L3, siendo estos los más frecuentes (*Figura 3*). El procedimiento quirúrgico más frecuente fue la instrumentación posterior larga (45 pacientes), seguida de fusión lumbar intersomática posterior (PLIF) o fusión lumbar intersomática transforaminal (TLIF) en 42 pacientes e instrumentación corta en 33 pacientes (*Tabla 1*).

El análisis de las variables morfométricas comparó los valores obtenidos en la planeación preoperatoria con los medidos en el control postoperatorio (*Tabla 2*).

La prueba de Wilcoxon evidenció diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.001$ ) en todas las variables analizadas, lo que indica que existen diferencias significativas entre las medidas virtuales y las reales.

Sin embargo, la correlación de Spearman demostró una asociación fuerte y positiva entre los valores predichos y los valores reales. En el caso del diámetro,



**Figura 2:** Resultados postoperatorios. Medición de la longitud del tornillo pedicular en la tomografía computarizada de control.

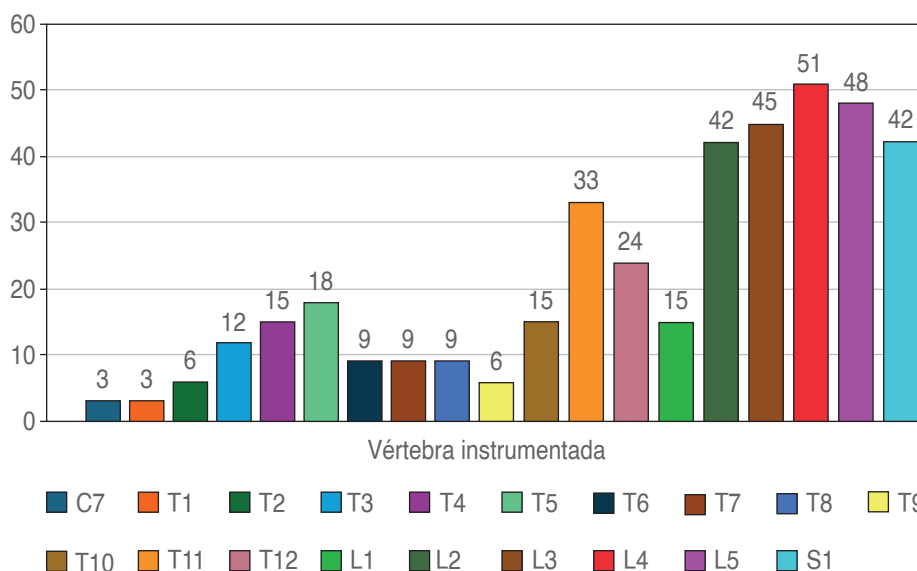


Figura 3:

Número de casos por nivel vertebral instrumentado.

Tabla 1: Etiología y tipos de procedimientos realizados.

Variable	Total
<b>Etiología</b>	
Degenerativo	42
Infecioso	18
Oncológico	3
Traumático	57
<b>Procedimientos</b>	
PLIF/TLIF	42
Instrumentación posterior corta	33
Instrumentación posterior larga	45

PLIF = Posterior Lumbar Interbody Fusion. TLIF = Transforaminal Lumbar Interbody Fusion.

se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.855 ( $p < 0.001$ ), mientras que para la longitud fue de 0.789 ( $p < 0.001$ ). La angulación coronal presentó una correlación de 0.966 ( $p < 0.001$ ), y la angulación sagital de 0.952 ( $p < 0.001$ ), lo cual indica que, aunque las predicciones no sean exactas, sí mantienen una tendencia proporcional consistente (Tabla 3).

### DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la precisión de una herramienta digital gratuita para la planeación preoperatoria de la colocación de tornillos pediculares en la columna toracolumbar, contrastando

los parámetros predichos con los valores obtenidos en la tomografía computarizada postoperatoria. Los resultados revelan que, aunque existen diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones planeadas y las observadas ( $p < 0.001$  para todas las variables), las fuertes correlaciones identificadas entre ambas sugieren una tendencia proporcional robusta, clínicamente relevante.

La correlación de Spearman demostró una asociación muy fuerte para el diámetro ( $r = 0.855$ ), angulación coronal ( $r = 0.966$ ) y angulación sagital ( $r = 0.952$ ), y fuerte para la longitud ( $r = 0.789$ ), todas con significancia estadística ( $p < 0.001$ ). Esta relación indica que, si bien la herramienta no proporciona una predicción exacta, sí permite anticipar con consistencia relativa la magnitud de los parámetros quirúrgicos. El análisis del error absoluto medio respalda estos hallazgos, con discrepancias promedio de 0.659 mm para el diámetro, 3.85 mm para la longitud,  $0.98^\circ$  para la angulación coronal y  $1.22^\circ$  para la angulación sagital, valores aceptables desde una perspectiva clínica.

Al comparar estos hallazgos con la literatura existente, se observa una concordancia parcial con estudios que han evaluado métodos tecnológicos avanzados para la planificación y ejecución de la instrumentación pedicular. Por ejemplo, van Dijk y colaboradores<sup>8</sup> y Wallace y su equipo<sup>12</sup> reportaron precisiones superiores al 95% en la colocación de tornillos utilizando navegación quirúrgica y sistemas robóticos, con márgenes de error inferiores a 2 mm en la mayoría de los casos. Si bien los valores de

precisión absoluta obtenidos en nuestro estudio son más modestos, la fuerte correlación proporcional y la reproducibilidad de la tendencia predictiva posicionan a esta herramienta como una alternativa funcional en entornos sin acceso a dichas tecnologías.

Por otro lado, Zhao y colaboradores<sup>13</sup> y Ozaki y su equipo<sup>14</sup> han señalado la utilidad creciente de la planificación tridimensional como recurso de apoyo quirúrgico, destacando su valor cuando se integra con la experiencia del cirujano. Nuestros hallazgos

coinciden con esta premisa, ya que la herramienta evaluada, aunque limitada en exactitud absoluta, demostró ser útil para anticipar la dirección, el tamaño y la trayectoria de los tornillos de manera proporcional, facilitando una ejecución quirúrgica más informada.

Asimismo, trabajos recientes como los de Xu y colaboradores<sup>10</sup> y Bertram y su grupo<sup>11</sup> comparan planificaciones manuales y automatizadas, concluyendo que incluso las planificaciones no asistidas por navegación pueden lograr buenos niveles de precisión si se fundamentan en análisis sistemáticos de imágenes. Esto se alinea con nuestro enfoque, en el que se utilizó una aplicación digital accesible, sin guía intraoperatoria, obteniendo correlaciones estadísticamente significativas en todos los parámetros evaluados.

Cabe señalar que en el presente estudio no se calculó el índice de concordancia intraclase (ICC), dado que el objetivo fue evaluar la congruencia entre planeación preoperatoria y ejecución quirúrgica, más que la reproducibilidad entre evaluadores. No obstante, futuras investigaciones podrían incorporar dicho análisis, así como explorar el impacto clínico funcional de las variaciones en la planeación.

Entre las fortalezas de esta investigación se incluyen un tamaño muestral adecuado, un análisis estadístico robusto y una metodología sistemática basada en imágenes tomográficas. No obstante, deben reconocerse ciertas limitaciones: el diseño retrospectivo, la falta de aleatorización y la ausencia de un grupo control con navegación quirúrgica o robótica. Asimismo, no se evaluaron resultados clínicos posoperatorios ni complicaciones relacionadas con la colocación de los implantes.

Estos hallazgos muestran que, si bien existe una diferencia estadísticamente significativa entre las mediciones predichas por la aplicación y las realmente utilizadas, la fuerte correlación y los bajos errores ab-

**Tabla 2:** Estadística descriptiva de las variables morfométricas y precisión dimensional.

Variable	Media ± DE
Diámetro preoperatorio, mm	4.62 ± 0.02
Diámetro postoperatorio, mm	5.28 ± 0.03
Longitud preoperatoria, mm	39.78 ± 0.20
Longitud postoperatoria, mm	43.63 ± 0.19
Angulación coronal preoperatoria, grados	13.76 ± 0.39
Angulación coronal postoperatoria, grados	14.74 ± 0.41
Angulación sagital preoperatoria, grados	9.33 ± 0.23
Angulación sagital postoperatoria, grados	10.55 ± 0.25
Diferencia de diámetro, mm	0.65 ± 0.01
Diferencia de longitud, mm	3.85 ± 0.11
Diferencia de angulación coronal, grados	0.98 ± 0.07
Diferencia de angulación sagital, grados	1.22 ± 0.07
Precisión de diámetro, porcentaje	87.85 ± 0.23
Precisión de longitud, porcentaje	91.24 ± 0.26
Precisión de angulación coronal, porcentaje	94.62 ± 0.47
Precisión de angulación sagital, porcentaje	91.30 ± 0.57

Se presentan las medias y desviaciones estándar de las mediciones planificadas (preoperatorias) versus las ejecutadas (postoperatorias) para el diámetro, longitud y angulaciones de los tornillos pediculares. Además, se detallan las diferencias absolutas medias y el porcentaje de precisión alcanzado en cada variable.  
DE = desviación estándar.

**Tabla 3:** Concordancia y diferencias estadísticas entre las mediciones preoperatorias y postoperatorias de tornillos pediculares.

Estadísticos	Diámetro	Longitud	Angulación coronal	Angulación sagital
p	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
Estadístico Z (Wilcoxon)	23.87	21.33	11.69	14.07
Correlación de Spearman	0.85	0.78	0.96	0.95

\* p ≤ 0.001

Se detallan los resultados de las pruebas no paramétricas aplicadas: la prueba de rangos con signo de Wilcoxon (estadístico Z y valor p) para evaluar la significancia de las diferencias en las magnitudes, y el coeficiente de correlación de Spearman (r) para determinar la fuerza de la asociación entre las medidas preoperatorias y postoperatorias en las cuatro variables de estudio.

solutos medios sugieren que las predicciones siguen una tendencia proporcional confiable. Es decir, a mayores valores predichos suelen corresponder mayores valores reales. En conjunto, estos resultados indican que la aplicación, aunque no completamente precisa en términos absolutos, es una herramienta útil y confiable para la planificación preoperatoria en la colocación de tornillos pediculares, especialmente en lo referente a la orientación, dirección y angulación del implante.

En conjunto, los hallazgos obtenidos respaldan el uso de herramientas digitales gratuitas como recurso válido y eficiente para la planeación preoperatoria de la instrumentación pedicular en la cirugía de columna. Aunque no sustituyen a los sistemas de navegación avanzados, representan una alternativa accesible, reproducible y clínicamente útil para mejorar la seguridad quirúrgica en hospitales sin acceso a tecnologías de alto costo.

### CONCLUSIONES

La planeación preoperatoria de tornillos pediculares mediante herramientas digitales de libre acceso, como aplicaciones gratuitas de reconstrucción tridimensional, permite una estimación confiable del diámetro, la longitud y la trayectoria del implante, mostrando una correlación fuerte o muy fuerte con los valores obtenidos en la tomografía computarizada postoperatoria. Aunque se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores planeados y los reales, la correlación proporcional consistente observada en todas las variables, junto con los bajos márgenes de error absoluto medio, compensa la variabilidad estadística y respalda su utilidad clínica como herramienta complementaria para la toma de decisiones quirúrgicas.

Estas plataformas, al no requerir tecnología costosa ni infraestructura especializada, representan una alternativa viable para hospitales con recursos limitados y pueden contribuir a optimizar la seguridad y precisión de la instrumentación vertebral. Si bien no sustituyen a los sistemas de navegación quirúrgica o robótica, su desempeño sugiere un potencial clínico relevante en escenarios donde dichas tecnologías no están disponibles.

Futuros estudios prospectivos y multicéntricos podrían fortalecer esta evidencia mediante la inclusión de resultados clínicos funcionales y análisis de costo-beneficio. No obstante, los hallazgos presentados constituyen un paso relevante hacia la validación científica de herramientas tecnológicas de bajo costo aplicadas a la cirugía de columna.

### AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al Servicio de Ortopedia y Traumatología del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” por el apoyo en la elaboración de este estudio.

### REFERENCIAS

1. Pluemer J, Freyvert Y, Pratt N, Robinson JE, Cooke JA, Tataryn ZL, et al. An assessment of the safety of surgery and hardware placement in de-novo spinal infections: a systematic review and meta-analysis of the literature. *Global Spine J.* 2023; 13: 1418-1428. doi: 10.1177/21925682221145603.
2. Jaipanya P, Chanplakorn P. Spinal metastasis: narrative review of the current evidence and treatment modalities. *J Int Med Res.* 2022; 50: 3000605221091665. doi: 10.1177/03000605221091665.
3. Saleh I, Hutami WD, Librianto D, Prasetyo M, Rahyussalim AJ, Hendriarto A, et al. Development of a new scoring system to define instability and the need for fusion in degenerative lumbar spinal stenosis: Jakarta Instability Score. *Global Spine J.* 2025; 15: 241-250. doi: 10.1177/21925682241262713.
4. Donnarumma P, Tarantino R, Nigro L, Rullo M, Messina D, Diacinti D, et al. Decompression versus decompression and fusion for degenerative lumbar stenosis: factors influencing outcome of back pain and disability. *J Spine Surg.* 2016; 2: 52-58. doi: 10.21037/jss.2016.03.07.
5. Takeuchi T, Takamizawa Y, Jinnai K, Kawano Y, Moroi T, Konishi K, et al. Biomechanical comparison of pedicle screw fixation strength between traditional trajectory and endplate-penetrating screw trajectories in cadaver spine. *Eur Spine J.* 2025; 34: 1-9. doi: 10.1007/s00586-025-08799-9.
6. Gertzbein SD, Robbins SE. Accuracy of pedicular screw placement in vivo. *Spine (Phila Pa 1976).* 1990; 15: 11-14. doi: 10.1097/00007632-199001000-00004.
7. Mok JM, Forsthoefel C, Diaz RL, Lin Y, Amirouche F. Biomechanical comparison of unilateral and bilateral pedicle screw fixation after multilevel lumbar lateral interbody fusion. *Global Spine J.* 2024; 14: 1524-1531. doi: 10.1177/21925682221149392.
8. van Dijk JD, van den Ende RP, Stramigioli S, Kochling M, Hoss N. Clinical pedicle screw accuracy and deviation from planning in robot-guided spine surgery. *Spine (Phila Pa 1976).* 2015; 40: E986-E991. doi: 10.1097/BRS.0000000000000960.
9. Yang JS, He B, Tian F, Liu TJ, Liu P, Zhang JN, et al. Accuracy of robot-assisted percutaneous pedicle screw placement for lumbar spondylolisthesis: a comparative cohort study. *Med Sci Monit.* 2019; 25: 2479-2487. doi:

- 10.12659/MSM.913124.
10. Xu YF, Zhang Q, Le XF, Liu B, He D, Sun YQ, et al. Comparison of one-time accuracy of simulated freehand and navigation simulated pedicle screw insertion. *World Neurosurg.* 2019; 128: e347-e354. doi: 10.1016/j.wneu.2019.04.151.
  11. Bertram U, Koveshazi I, Michaelis M, Weidert S, Schmidt TP, Blume C, et al. Automatic pedicle screw planning compared with manual planning for thoracolumbar fusion surgeries. *Int J Med Robot.* 2023; 19: e2570. doi: 10.1002/rcs.2570.
  12. Wallace DJ, Vardiman AB, Booher GA, Crawford NR, Riggleman JR, Greeley SL, et al. Navigated robotic assistance improves pedicle screw accuracy in minimally invasive surgery of the lumbosacral spine. *Int J Med Robot.* 2020; 16: e2054. doi: 10.1002/rcs.2054.
  13. Zhao J, Zhang Y, Zhan S, Zhang Q, Wang D, Peng F, et al. Pedicle screw path planning for multi-level vertebral fixation. *Med Phys.* 2024; 51: 1547-1560. doi: 10.1002/mp.16890.
  14. Ozaki T, Yamada K, Nakamura H. Usefulness of preoperative three-dimensional planning software for pedicle screw placement in thoracolumbar surgery. *Spine Surg Relat Res.* 2021; 6: 279-287. doi: 10.22603/ssrr.2021-0185.
  15. Phillips SA, Biant LC. The instruments of the bonesetter. *J Bone Joint Surg Br.* 2011; 93: 115-119. doi: 10.1302/0301-620X.93B1.25628.

**Conflicto de intereses:** los autores declaran no tener conflicto de intereses respecto a este trabajo.

**Financiamiento:** los autores declaran que este trabajo fue realizado con recursos propios y no recibió financiamiento externo, becas o patrocinios de ninguna entidad pública o privada.