

# Comparación entre cirugía asistida por navegación y cirugía convencional en el reemplazo total de rodilla

Agustín Pace, Matías Estrada, Eduardo A. Ruggieri

Servicio de Ortopedia y Traumatología, Hospital Privado Universitario de Córdoba, Córdoba, Argentina

## RESUMEN

**Introducción:** El reemplazo total de rodilla es el tratamiento de elección en los estadios finales de la patología degenerativa articular; su duración depende, en gran medida, de la alineación, el posicionamiento y la estabilidad de la articulación. El objetivo de este estudio fue comparar el eje mecánico del miembro inferior medido por telemetría, después de un reemplazo total de rodilla asistido por navegación o con técnicas convencionales, realizado por el mismo cirujano y con la misma prótesis. Se evaluó también el grado de satisfacción de los pacientes sometidos a este procedimiento y su posible variación entre estas dos técnicas. **Materiales y Métodos:** Estudio retrospectivo, comparativo, observacional, descriptivo de 200 pacientes sometidos a un reemplazo total de rodilla, divididos en dos grupos: grupo A (100 pacientes) con prótesis Columbus® colocada con el sistema de navegación OrthoPilot® y grupo B (100 pacientes), con la misma prótesis colocada con técnica convencional. Se realizaron telemetrías posoperatorias para determinar y comparar el resultado en ambos grupos. También se comparó el grado de satisfacción con el procedimiento y el índice de masa corporal y su posible relación con los resultados. **Resultados:** Se obtuvieron mejores resultados en los reemplazos totales de cadera asistidos por navegación, con diferencias estadísticamente significativas tanto en la obtención del eje mecánico posoperatorio como en el grado de satisfacción con el procedimiento. **Conclusión:** Los reemplazos totales de rodilla primarios guiados por un sistema de navegación fueron más precisos para lograr la alineación final del miembro en un eje mecánico de  $0^\circ \pm 3^\circ$ .

**Palabras clave:** Artroplastia; rodilla; navegación; alineación.

**Nivel de Evidencia:** III

## Comparison Between Computer Navigation-Assisted Surgery and Conventional Surgery in Total Knee Replacement

### ABSTRACT

**Introduction:** Total knee replacement (TKR) is the treatment of choice in the final stages of degenerative joint disease, and its survival depends largely on the alignment, positioning, and stability of the joint. This research aims to compare the mechanical axis of the lower limb measured by telemetry, after a computer navigation-assisted TKR vs. conventional techniques, performed by the same surgeon and using the same prosthesis. Secondly, to evaluate the degree of satisfaction of the patients submitted to this procedure and its possible variation between these two techniques. **Materials and Methods:** Retrospective, comparative, observational, descriptive study of 200 patients undergoing TKR, divided into two groups: Group A (100 patients), with Columbus® prostheses placed with the OrthoPilot® navigation system; and Group B (100 patients), with the same prosthesis placed with the conventional technique. Postoperative telemetry was performed on all patients to determine and compare the results in both groups. Secondly, the degree of satisfaction with the procedure and body mass index (BMI)—and its possible relationship with the results—were compared. **Results:** Computer navigation-assisted TKR obtained better outcomes with statistically significant differences both in the postoperative mechanical axis and in the degree of satisfaction with the procedure. **Conclusion:** Computer navigation-assisted primary TKRs were shown in our study to be more accurate in achieving final limb alignment on a  $0^\circ \pm 3^\circ$  limb mechanical axis.

**Key words:** Computer-assisted surgery; navigation; knee arthroplasty; kinematics.

**Level of Evidence:** III

Recibido el 15-11-2021. Aceptado luego de la evaluación el 23-3-2022 • Dr. AGUSTÍN PACE • aguspace.ap@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-5607-5886>

**Cómo citar este artículo:** Pace A, Estrada M, Ruggieri EA. Comparación entre cirugía asistida por navegación y cirugía convencional en el reemplazo total de rodilla. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol* 2022;87(3):325-334. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2022.87.3.1463>

## INTRODUCCIÓN

El reemplazo total de rodilla (RTR) es el tratamiento de elección para las enfermedades articulares degenerativas de la rodilla en sus estadios avanzados que no responden a los tratamientos conservadores; en la actualidad, es un procedimiento seguro, estandarizado y que logra buenos resultados a largo plazo.

El aumento de la expectativa de vida y el consecuente envejecimiento de la población incrementarán la cantidad de RTR en el futuro y se espera que, para 2030, haya un aumento del 673% de RTR y del 601% de las revisiones.<sup>1</sup> También está documentado que, en los últimos años, el 35% de los pacientes sometidos a un RTR tiene menos de 65 años y el 12% de ellos son menores de 55 años. La tasa de supervivencia de un RTR en hombres <55 años es del 80% a los 10 años y del 33% a los 16 años, y las expectativas de estos pacientes son difíciles de cumplir desde el punto de vista funcional.<sup>2</sup> El fracaso de un RTR es multifactorial, pero más del 50% de las revisiones tempranas se deben a la inestabilidad, la mala alineación o el mal posicionamiento de los componentes,<sup>3,4</sup> lo cual, en la mayoría de los casos, es consecuencia de una mala técnica quirúrgica.

Los sistemas asistidos por navegación para el RTR proporcionan al cirujano información confiable y en tiempo real, de reparos importantes de la rodilla y del miembro inferior para así poder determinar, con precisión, el nivel de los cortes óseos y la orientación de los componentes.<sup>5-7</sup> El manejo de los tejidos blandos y la obtención de una articulación estable, tanto en extensión como en flexión, resultan fundamentales para la supervivencia de la prótesis<sup>8</sup> y esto depende de la experiencia del cirujano. En este aspecto, se ha demostrado que la navegación no solo puede monitorear la liberación secuencial de los ligamentos,<sup>9</sup> sino también medir, con precisión, los espacios en extensión y flexión<sup>10</sup> y, de esta manera, mejorar el posicionamiento del componente femoral, su alineación coronal<sup>11-13</sup> y el comportamiento ligamentario.

El primer sistema de navegación sin carga de imágenes previas fue desarrollado por Saragaglia y Picard, en 1997,<sup>10</sup> quienes fueron pioneros en esta tecnología. Hoy, más de 20 años después, los avances tecnológicos en cirugía ortopédica asistida por navegación, el desarrollo de nuevos programas informáticos y la simplificación del instrumental han logrado excelentes resultados en osteotomías, prótesis unicompartmentales y RTR.<sup>14</sup>

El objetivo de este estudio fue comparar el eje mecánico del miembro inferior medido por telemetría después de un RTR asistido por navegación frente a las técnicas convencionales, realizado por el mismo cirujano y con la misma prótesis. Se evaluó también el grado de satisfacción de los pacientes sometidos a este procedimiento y su posible variación entre estas dos técnicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un estudio retrospectivo, comparativo, observacional, descriptivo en pacientes con diagnóstico de gonartrosis tricompartmental que no respondió al tratamiento médico previo, y que fueron sometidos a un RTR, por un único cirujano experimentado y competente en ambas técnicas quirúrgicas, realizadas en un centro de alta complejidad, entre enero de 2010 y diciembre de 2019.

Los criterios de inclusión fueron: edad >50 años, prótesis primaria de rodilla anatómica estabilizada a posterior (Columbus®, Aesculap Implant Systems®, B. Braun Co.), con telemetría de control posoperatoria y acceder a responder el cuestionario de satisfacción posoperatorio. Los criterios de exclusión fueron: edad <50 años, cirugía previa de revisión de RTR, no disponer de telemetría posoperatoria o no acceder a responder el cuestionario de satisfacción.

De 439 RTR realizados entre 2010 y 2019, se obtuvieron 200 pacientes, de manera aleatoria, que fueron divididos en dos grupos: grupo A (100 pacientes): prótesis total de rodilla (Columbus®, Aesculap Implant Systems®, B. Braun Co.) colocada mediante un sistema de navegación OrthoPilot® (B. Braun Co.) y grupo B (100 pacientes): prótesis (Columbus®, Aesculap Implant Systems®, B. Braun Co.) colocada mediante técnicas convencionales (intramedular/extramedular). Cabe destacar que, en el grupo de cirugía asistida por navegación, se incluyó a los pacientes con los que se comenzó a utilizar esta novedosa técnica y que forman parte de la curva de aprendizaje.

Se midió el eje mecánico posquirúrgico de todas las telemetrías realizadas en un Instituto de Diagnóstico por Imágenes de alta complejidad, verificados por observador a ciego que desconocía la técnica quirúrgica y registró los valores en la tabla de datos.

También se evaluaron la edad, el índice de masa corporal (IMC) y la satisfacción del paciente. Este último dato se obtuvo de todos los pacientes, por vía telefónica, mediante el *Knee Society Score: POST OP* (actualizado 2011), en 2021, por lo que llevaban entre 2 y 11 años de evolución. Los resultados fueron plasmados en la tabla de valores según el puntaje.

Los datos se analizaron con el programa IBM SPSS 24.0® para la comparación de ambos grupos.

## Técnica quirúrgica

Se ubica al paciente en decúbito dorsal y se administra anestesia regional. Siempre se realiza un abordaje pararrotuliano interno desde 8 cm por encima de la rótula hasta la tuberosidad anterior de la tibia. Se revierte y se luxa la rótula a externo. Se extrae parcialmente la grasa de Hoffa y tejido sinovial si tiene un aspecto inflamatorio. Se resecan ambos meniscos y los ligamentos cruzados. Se libera el primer centímetro de la meseta tibial interna según técnica y, mediante una maniobra de flexión profunda, se subluxa la tibia hacia anterior.

En los pacientes del grupo A, se realiza, además, una incisión de 2 cm en la cara anteromedial de la tibia a 10 cm del platillo tibial, para la inserción del cuerpo rígido tibial. El cuerpo rígido femoral se coloca por dentro de la incisión a 10 cm de la interlínea articular sobre la cara anterointerna del fémur. Se procede a la toma de datos según la especificación del programa, identificando los puntos anatómicos de referencia requeridos, como así también los centros rotatorios de la cadera, la rodilla y el tobillo (datos cinemáticos), obteniendo, en este momento, la información del eje del miembro inferior, tanto en extensión como en cualquier grado de flexión. Mediante una guía navegada se realiza un corte tibial proximal, perpendicular al eje de la tibia, con pendiente tibial de entre 1° y 5°. Se confirma la resección realizada. Mediante una guía específica se determinan el ángulo femoral y la cortical anterior, lo que aproxima al tamaño del componente femoral. Se procede a la resección de osteofitos femorales y al equilibrio ligamentario tanto en extensión como en flexión, de ser necesario, mediante un distractor que se coloca primero con la rodilla en extensión y, luego, en flexión, y se registran ambos valores. A continuación, se realiza la planificación intraoperatoria en el sistema, donde se puede modificar el tamaño del componente femoral, la cantidad de milímetros por resecar del fémur distal y los grados de rotación del componente femoral para lograr una articulación alineada en todos los planos y con excelente equilibrio ligamentario. Mediante una guía navegada y de acuerdo con la planificación, se efectúa el corte distal del fémur y se corrobora. Posteriormente se coloca una guía de 4 cortes respetando la rotación establecida y se continúa con cortes sucesivos de las caras anterior y posterior, y oblicuos del cóndilo femoral. Se labra el cajón femoral y se coloca la prótesis de prueba. Se realiza el tallado metafisario para la recepción del componente tibial cuidando la adecuada rotación. Se comprueba el eje del miembro y el equilibrio ligamentario en todo el rango de movilidad, y se registran esos valores. Se cementa la prótesis definitiva con técnica de primera generación, se reduce y se vuelve a comprobar la estabilidad y los ejes con el sistema de navegación.

En los pacientes del grupo B, se utiliza el mismo abordaje descrito, se liberan las partes blandas correspondientes y se usa una guía tibial extramedular (Aesculap®, B. Braun C.), se realiza el corte tibial con una pendiente de 3° perpendicular al eje de la tibia. Luego se lleva a cabo la osteotomía femoral distal con una guía intramedular (Aesculap®, B. Braun Co.) con 3-5° de valgo femoral según la planificación preoperatoria. Se efectúan cortes femorales anterior, posterior y oblicuos con una rotación externa de 3°. Se coloca la prótesis de prueba y se comprueba el equilibrio ligamentario. Se cementa la prótesis definitiva con la misma técnica que en el grupo A.

Ambos grupos recibieron profilaxis antibiótica preoperatoria con cefazolina 2 g, 30 min antes de la incisión cutánea y tres dosis posoperatorias de 2 g, cada 8 h; en caso de alergia, se administró clindamicina 600 mg, en igual esquema. Se indicó, además, ácido tranexámico 1 g, en 30 min, antes de la cirugía y, luego, la misma dosis, 2 h después de finalizar la cirugía. No se utilizó manguito hemostático.

En ambos grupos, se dejó un drenaje posoperatorio que fue retirado sistemáticamente a las 24 h del procedimiento. Todos los pacientes recibieron trombopprofilaxis por 30 días.

## RESULTADOS

### Características generales

La muestra final estaba conformada por 200 pacientes que fueron sometidos a un RTR. Se los dividió en dos grupos: grupo A (100 pacientes): prótesis total de rodilla colocada con sistema de navegación y grupo B (100 pacientes) con prótesis colocada mediante técnicas convencionales. La edad media era de  $72.3 \pm 7.8$  años (rango: 51-89). El 50% tenía más de 73 años (mediana). El 17,5% tenía un IMC superior a  $35 \text{ kg/m}^2$ , es decir, con un alto grado de obesidad (tipo II o tipo III). El tiempo promedio de cirugía fue de 70 min y el tiempo promedio de internación, de 72 h, en ambos grupos. El manejo del dolor posoperatorio fue multimodal e incluyó bloqueo intrarticular, opiáceos y antiinflamatorios no esteroideos por vía intravenosa, durante la internación y gabapentina por 15 días después de la operación. Los registros de manejo del dolor posoperatorios son satisfactorios.

En cuanto al rango de movilidad, si bien no hay registros en todos los pacientes, el 70% tenía un rango de movilidad de 115°.

### Correlaciones según el grupo de pacientes

Los pacientes del grupo A eran, en promedio, menores que los tratados con la técnica convencional, las medias fueron de 74.5 y 69.9 años, respectivamente, con una diferencia estadísticamente significativa.

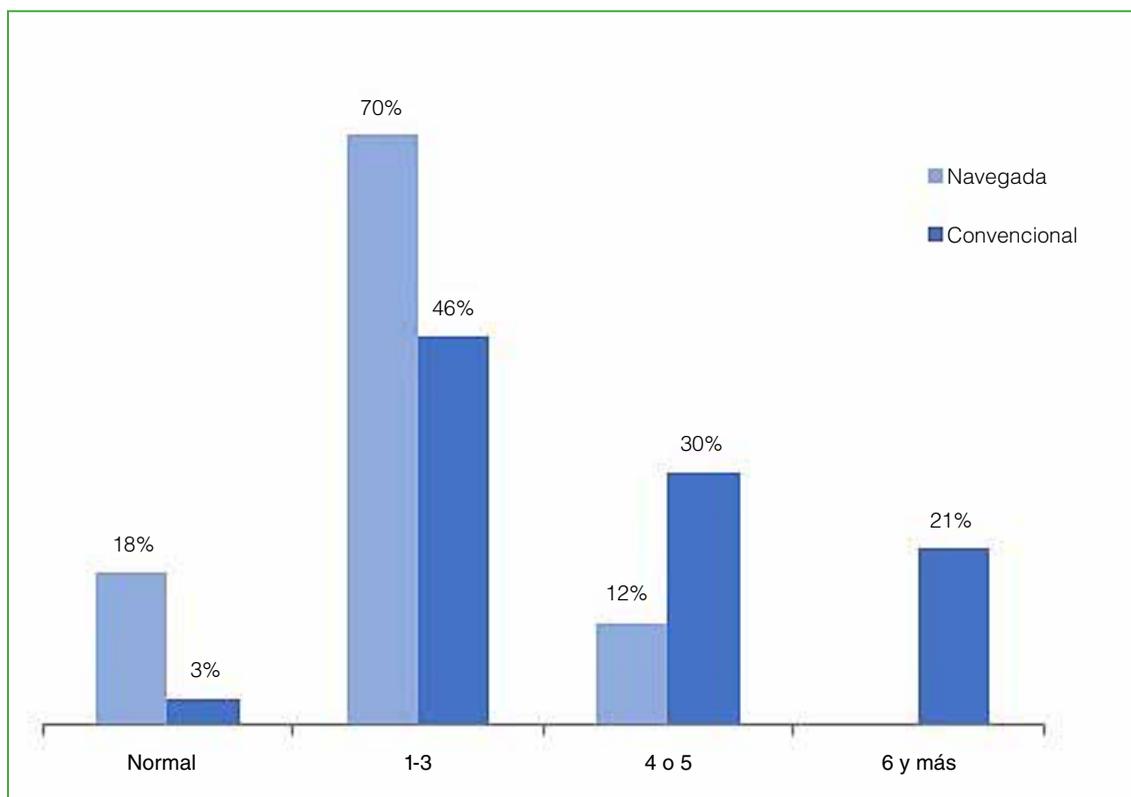
El 14% del grupo A tenía un IMC >35 kg/m<sup>2</sup>, en el grupo B, fue superior, pero la diferencia no fue significativa.

En cuanto al eje del miembro obtenido por telemetría posoperatoria, expresado en grados, fue de 1° y 3° en la mayoría del grupo con prótesis navegada (70%) y de 0° en el 18%. En el grupo B, estos porcentajes fueron menores: 1-3° (46%), 0° (3%) y 6° o más (21%), con una diferencia estadísticamente significativa (Figuras 1 y 2).

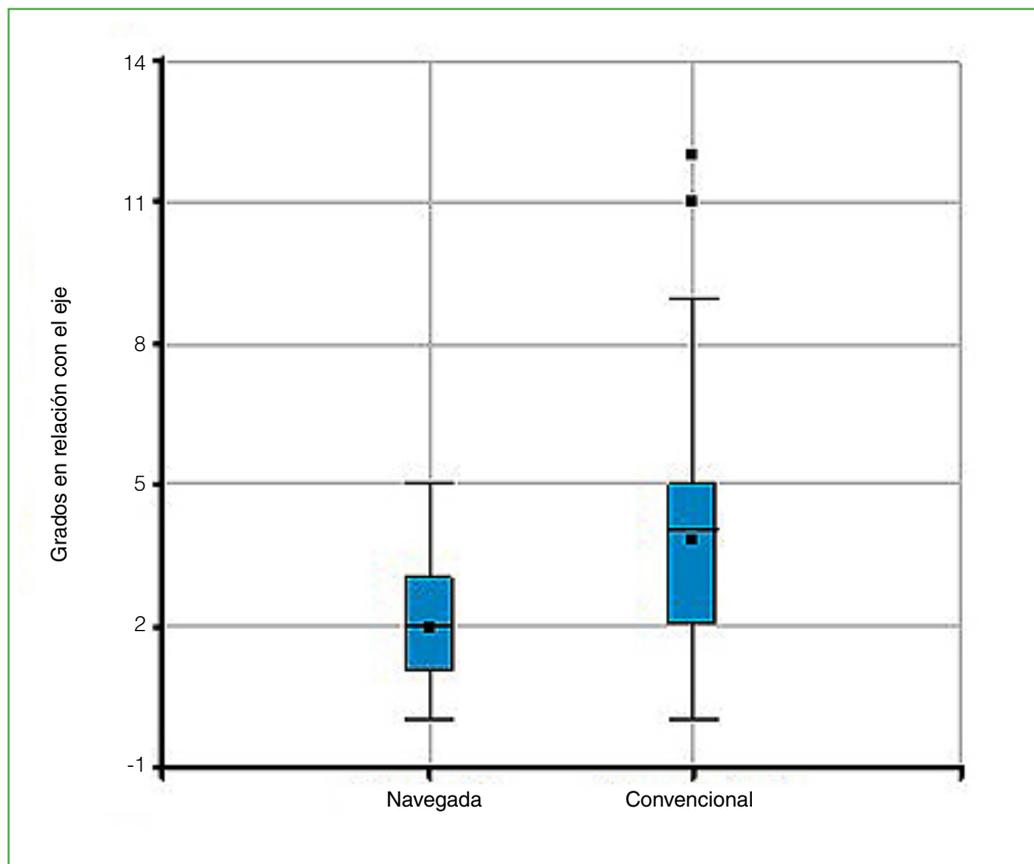
En lo que respecta a la desviación del eje en varo y en valgo, las cirugías con sistema de navegación arrojaron un resultado del 10% en valgo (L) y aquellas con técnica convencional, del 19%. El resto de los pacientes tenía un eje posoperatorio en varo (R).

No se halló una diferencia significativa entre los grupos cuando se tuvo en cuenta a los pacientes con un IMC >35 kg/m<sup>2</sup> en relación con el eje del miembro obtenido en el posoperatorio por telemetría.

Tres pacientes sufrieron complicaciones que fueron tardías. Dos del grupo A: el primero desarrolló una infección periprotésica y el segundo, una artrofibrosis. El tercero pertenecía al grupo B y también sufrió una infección periprotésica.



**Figura 1.** Distribución de telemetrías posoperatorias, expresadas en grados, divididas en dos grupos, según la técnica de colocación.



**Figura 2.** Diagrama de cajas que representa el eje final posoperatorio medido por telemetría, comparando ambos grupos de estudio. Se expresa en grados en relación con el eje mecánico.

Por último, la satisfacción del paciente en el posoperatorio, medida por el *Knee Society Score: POST OP* (actualizado 2011), en general, fue mayor en el grupo de pacientes con prótesis navegada que en el grupo con las técnicas convencionales (Tabla). Se hallaron diferencias significativas en las siguientes actividades: al sentarse, al estar acostado en la cama, al levantarse de la cama y durante actividades recreativas en el tiempo libre.

Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en cuatro de los cinco puntos que se tuvieron en cuenta.

**Tabla.** Grados de satisfacción del paciente sometido a cirugía de reemplazo total de rodilla según la técnica utilizada

Actividad	Grado de satisfacción	Navegada	Convencional	p
Sentarse	Muy satisfecho/Satisfecho	90,7%	77,3%	<b>0,015</b>
	Neutro	6,2%	20,5%	
	Insatisfecho/Muy insatisfecho	3,1%	2,3%	
Acostado/a en la cama	Muy satisfecho/Satisfecho	90,7%	77,3%	<b>0,022</b>
	Neutro	9,3%	19,3%	
	Insatisfecho/Muy insatisfecho	--	3,4%	
Levantarse de la cama	Muy satisfecho/Satisfecho	99,0%	79,5%	<b>0,0001</b>
	Neutro	1,0%	20,5%	
	Insatisfecho/Muy insatisfecho	--	--	
Realizar tareas domésticas ligeras	Muy satisfecho/Satisfecho	88,7%	80,7%	0,130
	Neutro	11,3%	19,3%	
	Insatisfecho/Muy insatisfecho	--	--	
Actividades recreativas	Muy satisfecho/Satisfecho	95,9%	81,8%	<b>0,006</b>
	Neutro	3,1%	17,0%	
	Insatisfecho/Muy insatisfecho	1,0%	1,1%	

## DISCUSIÓN

En la bibliografía, está bien establecido que la cirugía de RTR navegada permite lograr un mejor posicionamiento de los componentes en ambos planos<sup>15,16</sup> y un mejor equilibrio ligamentario en todo el rango de movilidad y, en consecuencia, mejora la alineación final del miembro.<sup>17,18</sup> Esto coincide con los resultados de nuestro estudio. Sin embargo, hay poca evidencia bibliográfica sobre el rol de la navegación en el manejo de partes blandas, un aspecto importante en el resultado de los RTR.<sup>18,19</sup> Lograr un adecuado equilibrio de los tejidos blandos tanto en extensión como en flexión mejora la función y la estabilidad de los reemplazos articulares. La técnica de navegación brinda la posibilidad de medir milimétricamente las brechas tanto en extensión como en flexión, en cada uno de los compartimentos, así como también la tensión ligamentaria en todo el rango de movilidad.<sup>20,21</sup> Esto permite realizar liberaciones muy precisas cuando es estrictamente necesario, y mantener nuestra autonomía en las decisiones.<sup>22,23</sup>

En los últimos años, la alineación mecánica, como objetivo final, fue puesta en discusión debido a que su obtención no aseguraba una mayor satisfacción de los pacientes con el resultado del procedimiento, y comenzaron a tener más auge las diferentes alineaciones cinemáticas cuyo principal objetivo es lograr una articulación lo más parecida posible a la original de cada paciente, aun dejando articulaciones con ejes en varo o valgo de pocos grados.<sup>16,23</sup> Estos métodos de alineación son muy difíciles de lograr con las técnicas convencionales y los sistemas de navegación, más recientemente los sistemas robóticos hacen posible lograr resultados muy ajustados a la planificación preoperatoria.

Nuestro estudio demuestra que la obtención de un eje neutro  $\pm 3^\circ$  es significativamente mayor en las cirugías con técnica de navegación (88%) que en las cirugías convencionales (50%), incluso fue posible realizar alineaciones cinemáticas ajustadas a la anatomía original de cada paciente.

La satisfacción del paciente con el resultado de los RTR es otro aspecto controvertido en la bibliografía.<sup>22,24</sup> La mayoría de los estudios demuestra que solo el 50-70% de los pacientes está satisfecho o muy satisfecho con el procedimiento, y los principales motivos de molestias son el dolor residual, el retorno a las actividades de la vida diaria y la rigidez.<sup>21</sup> En nuestro estudio, comparamos la satisfacción del paciente sometido a cirugía navegada o convencional, y se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa a favor de la técnica navegada, si bien en

nuestra serie, el porcentaje de satisfecho/muy satisfecho es superior al 80% en ambos grupos. Cirugías más precisas, con menor intervención de las partes blandas y el adecuado equilibrio ligamentario permiten un retorno precoz a las actividades de la vida diaria y una mejor funcionalidad del miembro, lo que influye directamente sobre la satisfacción posoperatoria del paciente.

Otro aspecto evaluado en este estudio es la relación del IMC con la alineación del miembro y el grado de satisfacción posoperatoria.<sup>25</sup> Nuestros resultados son comparables con los de la bibliografía, no se observaron diferencias significativas en estos dos grupos de pacientes.<sup>18</sup>

Las debilidades de nuestro estudio son su carácter retrospectivo, con un grupo heterogéneo de pacientes, en un largo período de tiempo y con una medición de la satisfacción de manera subjetiva. En lo que respecta a sus fortalezas, sobresale que es un estudio unicéntrico, de cirugías realizadas por un único cirujano experimentado utilizando la misma prótesis en ambos grupos y además sienta una base para continuar con estudios comparativos de estas dos técnicas en otros aspectos importantes y actuales, como la planificación personalizada para cada paciente tanto en el eje global del miembro, como en la orientación de la línea articular en relación con la funcionalidad del miembro operado.

En este estudio, los RTR primarios guiados por sistema de navegación fueron más precisos para lograr la alineación final del miembro en un eje mecánico de  $0^\circ \pm 3^\circ$  (Figura 3) en comparación con el RTR mediante técnica convencional (Figura 4).



**Figura 3.** A. Telemetría preoperatoria: 15° de varo en la pierna izquierda, 18° de varo en la pierna derecha. B. Telemetría de control posoperatoria: 1° de valgo en la pierna derecha, 0° en la pierna izquierda, en un paciente sometido a cirugía de reemplazo total de rodilla asistida por sistema de navegación.



**Figura 4.** A. Telemetría preoperatoria: 8° de varo en la pierna derecha. B. Telemetría de control posoperatoria: 3° de varo en la pierna derecha, en un paciente sometido a cirugía de reemplazo total de rodilla asistida con técnica convencional.

El hecho de tener información intraoperatoria simultánea permite lograr mejores equilibrios ligamentarios en todo el rango de movilidad, un mejor posicionamiento de los componentes y menor liberación de partes blandas, esto se traduce en menos dolor posoperatorio, recuperación precoz de la funcionalidad y un pronto retorno a las actividades de la vida diaria, e influye directamente en el grado de satisfacción del paciente con el procedimiento.

La cirugía guiada por navegación ha superado la prueba del tiempo y, en los últimos 20 años, demostró ser una técnica predecible, reproducible y confiable en la obtención de la funcionalidad del miembro y la satisfacción del paciente, manteniendo la autonomía del cirujano en la toma de decisiones.

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

ORCID de M. Estrada: <https://orcid.org/0000-0002-4430-6330>

ORCID de E. A. Ruggieri: <https://orcid.org/0000-0003-4981-1800>

## BIBLIOGRAFÍA

1. Sloan M, Premkumar A, Sheth NP. Projected volume of primary total joint arthroplasty in the U.S., 2014 to 2030. *J Bone Joint Surg Am* 2018;100(17):1455-60. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.01617>
2. Picard F, Deep K, Jenny JY. Current state of the art in total knee arthroplasty computer navigation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24(11):3565-74. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4337-1>
3. Selvanayagam R, Kumar V, Malhotra R, Srivastava DN, Digge VK. A prospective randomized study comparing navigation versus conventional total knee arthroplasty. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2019;27(2):2309499019848079. <https://doi.org/10.1177/2309499019848079>
4. Mathew KK, Marchand KB, Tarazi JM, Salem HS, DeGouveia W, Ehiorobo JO, et al. Computer-assisted navigation in total knee arthroplasty. *Surg Technol Int* 2020;36:323-30. PMID: 32294224
5. Dong Z, Li Y, Tian H. [Research progress on comparison of the application effects between personal specific instrumentation and computer-assisted navigation surgery in total knee arthroplasty]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi* 2021;35(11):1492-8. <https://doi.org/10.7507/1002-1892.202104048> [En chino]
6. Shah SM. After 25 years of computer-navigated total knee arthroplasty, where do we stand today? *Arthroplasty* 2021;3(1):41. <https://doi.org/10.1186/s42836-021-00100-9>
7. Siddiqi A, Smith T, McPhilemy JJ, Ranawat AS, Sculco PK, Chen AF. Soft-tissue balancing technology for total knee arthroplasty. *JBJS Rev* 2020;8(1):e0050. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.19.00050>
8. Todesca A, Garro L, Penna M, Bejui-Hugues J. Conventional versus computer-navigated TKA: a prospective randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25(6):1778-83. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4196-9>
9. Picard F, Deakin AH, Clarke JV, Dillon JM, Gregori A. Using navigation intraoperative measurements narrows range of outcomes in TKA. *Clin Orthop Relat Res* 2007;:463:50-7. <https://doi.org/10.1097/BLO.0b013e31811468734>
10. Saragaglia D, Picard F, Chaussard C, Montbarbon E, Leitner F, Cinquin P. Computer-assisted knee arthroplasty: comparison with a conventional procedure. Results of 50 cases in a prospective randomized study. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2001;87(1):18-28. <https://doi.org/10.1051/sicotj/2017025>
11. Picard F, Clarke J, Deep K, Gregori A. Computer assisted knee replacement surgery: Is the movement mainstream? *Orthop Muscular Syst* 2014;3(2):153. <https://doi.org/10.4172/2161-0533-3-1000153>
12. Pronk Y, Peters MCWM, Brinkman JM. Is patient satisfaction after total knee arthroplasty predictable using patient characteristics and preoperative patient-reported outcomes? *J Arthroplasty* 2021;36(7):2458-65. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2021.02.064>
13. Rivière C, Ollivier M, Girerd D, Argenson JN, Parratte S. Does standing limb alignment after total knee arthroplasty predict dynamic alignment and knee loading during gait. *Knee* 2017;24:627-33. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2017.03.001>
14. Park JK, Seon JK, Cho KJ, Lee NH, Song EK. Is immediate postoperative mechanical axis associated with the revision rate of primary total knee arthroplasty? A 10-year follow-up study. *Clin Orthop Surg* 2018;10(2):167-73. <https://doi.org/10.4055/cios.2018.10.2.167>
15. Young SW, Walker ML, Bayan A, Briant-Evans T, Pavlou P, Farrington B. The Chitranjan S Ranawat Award: no difference in 2-year functional outcomes using kinematic versus mechanical alignment in TKA: a randomized controlled clinical trial. *Clin Orthop Relat Res* 2017;:475:9-20. <https://doi.org/10.1007/s11999-016-4844-x>
16. Waterson HB, Clement ND, Eyres KS, Mandalia VI, Toms AD. The early outcome of kinematic versus mechanical alignment in total knee arthroplasty: a prospective randomized control trial. *Bone Joint J* 2016;98:1360-8. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.98B10.36862>
17. Takahashi T, Ansari J, Pandit HG. Kinematically aligned total knee arthroplasty or mechanically aligned total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2018;31(10):999-1006. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1632378>
18. Koh IJ, Lin CC, Patel NA, Chalmers CE, Maniglio M, Han SB, et al. Kinematically aligned total knee arthroplasty reproduces more native rollback and laxity than mechanically aligned total knee arthroplasty: A matched pair cadaveric study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2019;105(4):605-11. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2019.03.011>
19. Deep K, Picard F, Clarke JV. Dynamic knee alignment and collateral knee laxity and its variations in normal humans. *Front Surg* 2015;2:62. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2015.00062>
20. Rivière C, Iranpour F, Auvinet E, Howell S, Vendittoli PA, Cobb J, et al. Alignment options for total knee arthroplasty: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res* 2017;103(7):1047-56. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.07.010>

21. Kahlenberg CA, Nwachukwu BU, McLawhorn AS, Cross MB, Cornell CN, Padgett DE. Patient satisfaction after total knee replacement: A systematic review. *HSS J* 2018;14(2):192-201. <https://doi.org/10.1007/s11420-018-9614-8>
22. Almaawi AJH, Hutt JRB, Masse V, Lavigne M, Vendittoli PA. The impact of mechanical and restricted kinematic alignment on knee anatomy in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2017;32:2133-40. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2017.02.028>
23. Hutt JR, LeBlanc MA, Masse V, Lavigne M, Vendittoli PA. Kinematic TKA using navigation: surgical technique and initial results. *Orthop Traumatol Surg Res* 2016;102:99-104. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.11.010>
24. Oussedik S, Abdel MP, Victor J, Pagnano MW, Haddad FS. Alignment in total knee arthroplasty. *Bone Joint J* 2020;102-B(3):276-9. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.102B3.BJJ-2019-1729>
25. Boyce L, Prasad A, Barrett M, Dawson-Bowling S, Millington S, Sammy AH. The outcomes of total knee arthroplasty in morbidly obese patients: a systematic review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg* 2019;139(4):553-60. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03127-5>