



Estudio retrospectivo de la alineación obtenida en el plano coronal en artroplastia total de rodilla.
Cirugía navegada vs. convencional

Retrospective study of the coronal alignment in total knee arthroplasty.
Navigation vs. conventional surgery

AUTORA:

MARÍA DURÁN SERRANO

DIRECTOR:

CARLOS MARTÍN HERNÁNDEZ

Gracias Carlos por tu paciencia,

apoyo y pasión por enseñar

Traumatología

ÍNDICE

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Cirugía asistida por ordenador	5
1.2 Navegación sin imagen.....	7
1.3 Ventajas de la artroplastia total de rodilla navegada	11
1.4 Inconvenientes de la artroplastia total de rodilla navegada.....	12
1.5 Controversias	13
2. OBJETIVOS	15
3. HIPÓTESIS OPERATIVAS.....	16
4. MATERIAL Y MÉTODOS	16
4.1 Diseño de la investigación	16
4.2 Descripción de la muestra	16
4.3 Intervención quirúrgica	17
4.4 Variables a estudio	19
4.5 Evaluación radiológica.....	19
4.6 Análisis estadístico	20
4.7 Manejo de la bibliografía	21
4.8 Implicaciones éticas y legales.....	21
5. RESULTADOS	21
5.1 Descripción preoperatoria de la muestra	21
5.2 Resultados de alineación postoperatoria.....	22
5.3 Complicaciones	24
5.4 Integración de los implantes	25
6. DISCUSIÓN.....	25
7. CONCLUSIONES	30
8. NIVEL DE EVIDENCIA	30
9. RESPONSABILIDADES ÉTICAS.....	30
11. BIBLIOGRAFÍA.....	31

RESUMEN

Objetivo:

El objetivo de este estudio es comparar los resultados obtenidos en la alineación en el plano coronal del ángulo cadera, rodilla, tobillo (ángulo femorotibial) de las artroplastias totales de rodilla (ATR) realizadas mediante cirugía asistida por ordenador (CAO) con aquellas realizadas mediante instrumentación convencional.

Material y métodos:

Estudio observacional analítico longitudinal retrospectivo de dos cohortes de pacientes sometidos a artroplastia total de rodilla. Se incluyen 51 pacientes en la cohorte en la que se implanta la prótesis de rodilla por cirugía asistida y 50 pacientes integran la cohorte en la que se implanta por cirugía convencional. Cada cohorte fue intervenida por un cirujano diferente, uno en el Hospital Universitario Miguel Servet de Zaragoza y otro en el Hospital Obispo Polanco de Teruel durante el año 2017 para el tratamiento de gonartrosis primaria o secundaria tras fracaso de tratamiento conservador. Todos los pacientes fueron evaluados radiológicamente, en el preoperatorio, postoperatorio y al mes de la cirugía.

Resultados:

El número de pacientes que mostraban una alineación postoperatoria considerada óptima, es decir un ángulo mecánico femorotibial comprendido entre 3° de varo y 3° de valgo, fue significativamente mayor en el grupo de ATR navegada (96,08 %) que en el grupo de ATR convencional (72 %).

Palabras clave:

Artroplastia total de rodilla
Cirugía asistida por ordenador
Navegación
Alineación.

ABSTRACT

Objective:

The aim of this study was to compare navigated total knee arthroplasties (TKA) with conventional TKA regarding radiological outcomes under the hypothesis that navigated TKA would provide better outcomes in the alignment of mechanical axis than conventional TKA.

Methods:

In a retrospective longitudinal analytical observational study, 51 patients underwent navigated TKA and 50 patients received conventional instrumentation. Each cohort was operated by a different surgeon. The CAO group was operated at the Miguel Servet University Hospital in Zaragoza and the other group at the Obispo Polanco Hospital in Teruel during the year 2017 for the treatment of primary or secondary gonarthrosis after the failure of conservative treatment. All the patients were evaluated radiologically, both preoperatively and postoperatively and then one month after the surgery.

Results:

The number of patients that showed a postoperative alignment considered optimal, that is to say, a mechanical femoro-tibial angle comprised of between 3° of varus and 3° of valgus, was significantly higher in the group of navigated TKA (96.08%) than in the conventional TKA group (72%).

Key words:

Total knee arthroplasty
Computer-assisted surgery
Navigation
Alignment.

1. INTRODUCCIÓN

La gonartrosis representa una patología degenerativa de gran importancia socio-sanitaria en los mayores de 50 años. Su prevalencia en España se estima en un 28,1% en personas de 60-69 años y de un 33,7% en el grupo de 70-79 años¹. Según los datos epidemiológicos del estudio EPISER dirigido por la Sociedad Española de Reumatología¹ se espera que aumente significativamente debido al progresivo envejecimiento de la población y al aumento de la esperanza de vida previéndose como la cuarta causa principal de discapacidad en el 2020. Se calcula que aproximadamente la mitad de pacientes diagnosticados de gonartrosis serán sometidos a una intervención quirúrgica de reemplazo de la articulación.

La artroplastia total de rodilla (ATR) es una intervención quirúrgica habitual y estandarizada cuyo objeto es la reconstrucción de una articulación dañada por gonartrosis avanzada de causa degenerativa o traumática, osteonecrosis o artritis reumatoide, entre otras, mediante la resección de las superficies articulares y sustitución por material protésico tanto en la tibia como en fémur y en ocasiones de la patela.

La finalidad de la ATR es aliviar el dolor rebelde a tratamientos médicos, corregir las deformidades, proporcionar una adecuada movilidad y estabilidad articular restaurando la cinemática normal de la articulación, mejorando la calidad de vida de los pacientes e incrementando su capacidad funcional.

Sin embargo, son numerosos los factores que pueden influir sobre los resultados clínicos y funcionales de la ATR a largo plazo^{1,2}. Entre ellos:

- Factores dependientes del paciente (obesidad, movilidad preoperatoria, edad, grado de lesión).
- Diseño del implante.
- Realización de una cuidadosa técnica quirúrgica (alineación, equilibrio de partes blandas, tamaño y fijación adecuados del implante).
- Cuidados postoperatorios efectivos.

Un 56% de los fracasos de la ATR se producen en los dos primeros años tras la cirugía y las causas más frecuentes son actualmente y por este orden el aflojamiento aséptico, la infección y la inestabilidad³. Un 12% de ellos se deben a una alineación incorrecta⁴, habiéndose demostrado que una alineación fuera de los 3º de varo o de valgo sobre el ángulo femorotibial mecánico neutro (0º) multiplica por 8 la tasa de revisión a los 8 años⁵ y por 11 a los 15 años⁶. Es deseable por lo tanto obtener una alineación adecuada que minimice los posibles efectos deletéreos sobre la durabilidad y resultados clínicos de la artroplastia.

1.1 Cirugía asistida por ordenador

Numerosos estudios han demostrado que, incluso con cirujanos experimentados, la alineación obtenida mediante métodos de instrumentación convencional en ATR realizadas con una adecuada planificación preoperatoria restablece un eje mecánico ideal en tan sólo un 75% de las intervenciones⁷.

La cirugía asistida por ordenador, también llamada cirugía navegada, nació como una herramienta para maximizar la exactitud en la cirugía, estandarizar el procedimiento y prolongar con ello la vida de la prótesis⁸. En 1991, el Dr. Lavallée, de la Universidad de Grenoble (Francia), utilizó por primera vez el sistema de cirugía asistida por ordenador en rodilla para reparar un LCA (ligamento cruzado anterior). Pero no fue hasta 1997, en Francia, cuando el Dr. Saragaglia y el Dr. Picard realizaron la primera artroplastia de rodilla navegada⁸.

El término "navegación" describe la actividad quirúrgica realizada por un cirujano con la instrumentación asociada a un ordenador.

Se han descrito varias clasificaciones de los sistemas de ayuda informatizada en intervenciones quirúrgicas de rodilla, siendo la más reciente la de Picard et al.⁹ que los clasifica en:

- **Sistemas activos** (robots automáticos):

Los sistemas activos robóticos son los más antiguos y más complejos. Para este tipo de tecnología de cirugía asistida por ordenador (CAO), el propio robot es el navegador. Los robots llevan a cabo una tarea específica de forma autónoma sin apoyo adicional por el cirujano. Estos sistemas se han utilizado en la sustitución total de la articulación, pero su beneficio clínico ha sido fuertemente cuestionado¹⁰. Debido a su complejidad y coste económico, al uso de marcadores de referencia invasivos y a la necesidad de una sala quirúrgica de mayor tamaño no han sido ampliamente implantados en la artroplastia de rodilla⁹.

- **Sistemas semi-activos:**

Los sistemas semi-activos o activos pasivos no realizan tareas quirúrgicas de forma autónoma, pero pueden orientar mecánicamente la mano del cirujano en la colocación del instrumental quirúrgico. Este sistema permite al cirujano operar libremente dentro de una zona de seguridad predeterminada. El primer sistema semi-activo en rodilla fue publicado por Matsen et al.¹¹ en 1993 donde el cirujano seleccionaba la posición deseada y la orientación de los componentes protésicos femorales en una plantilla de digitalización tridimensional prequirúrgica⁹.

- **Sistemas pasivos** (simuladores quirúrgicos y planificadores preoperatorios. Navegadores):

Los sistemas pasivos son los más extendidos. Esta tecnología ofrece información sobre la alineación de la extremidad, geometría de la articulación y estado de distracción de las partes blandas y proporciona los datos necesarios para realizar los cortes y colocar los implantes de una manera óptima, pero deja en manos del cirujano el control para modificar cualquiera de los parámetros de salida y es él quien realiza los cortes y coloca los implantes. Es un ordenador el que informa intraoperatoriamente y en tiempo real del rango de movilidad, de la orientación del plano de corte, de la alineación de la extremidad, de la colocación de los implantes y del equilibrio de las partes blandas siendo el cirujano el que adquiere las referencias anatómicas y realiza los cortes. Pueden ser agrupados en tres categorías en función del método de referencia que utilicen: sistemas basados en imágenes (Tomografía Axial Computarizada [TAC] o fluoroscopia) y los sistemas sin imagen⁹.

Sistemas basados en TAC: previamente a la intervención quirúrgica de artroplastia total de rodilla (ATR) se realiza un estudio TAC de cabeza femoral, rodilla y la porción distal de la tibia creando un modelo tridimensional en base a las imágenes obtenidas. La principal ventaja de este sistema es la gran exactitud de la anatomía obtenida incluso en casos de deformidades extremas. Los inconvenientes son la obligatoriedad de realizar una TAC que puede considerarse un gasto adicional de tiempo y dinero, además de ser una fuente de radiación para el paciente⁹.

Los sistemas basados en la fluoroscopia utilizan el intensificador de imagen y permiten la recogida de un número limitado de imágenes. La combinación de éstas con los marcadores específicos permite al ordenador relacionar la posición de la imagen con la posición del marcador en el paciente⁹.

Los sistemas sin imágenes están basados en una base de datos que dispone cada fabricante tras la digitalización de un gran número de imágenes de la anatomía de distintos pacientes. El primer sistema de navegación libre de imagen fue descrito por Leitner en 1997 siendo uno de los más sencillos y ampliamente utilizados hoy en día en la ATR. Estos sistemas recopilan la información de la geometría ósea a través del mapeo (recogida de puntos de referencia y de superficie) que realiza el cirujano intraoperatoriamente mediante un puntero. En base a algoritmos cinemáticos y a los puntos digitalizados por el cirujano los datos se transforman en un modelo tridimensional. Las bases teóricas de la cinemática de la extremidad inferior fueron definidas por Yoshioka en 1987 y basadas en el soporte del peso del fémur y de la tibia. La principal ventaja de este sistema es la no exposición a radiación por la exploración de TAC⁹.

Existen diferentes tipos de procedimientos para realizar la digitalización del elemento terapéutico a través de los sistemas sin imagen. En primer lugar, los dispositivos emisores especializados que son dispositivos de posicionamiento de rastreo que se utilizan para determinar los puntos de referencia anatómicos intraoperatoriamente. En segundo lugar, los procedimientos pivotantes cuyo objetivo es determinar las características cinemáticas específicas de la articulación. Técnicamente, la mecánica de los cuerpos rígidos y algoritmos matemáticos de optimización son empleados para calcular los parámetros cinemáticos deseados. En la ATR el procedimiento pivotante es utilizado para calcular el centro de rotación de la cadera, de la rodilla y del tobillo y los dispositivos de rastreo (punteros de digitalización) para el registro de puntos de superficie articular⁹.

1.2 Navegación sin imagen

Los sistemas de navegación sin imagen en la ATR están compuestos por un sistema de seguimiento óptico o cámara que recoge la posición y la orientación de los transmisores ópticos que están localizados en fémur y tibia; un puntero que permite al cirujano digitalizar las referencias óseas y realizar el mapeo de la geometría de la rodilla y el instrumental quirúrgico propio de la prótesis. Todo el sistema de navegación está controlado por un ordenador que procesa los datos obtenidos y ofrece al cirujano la información necesaria para realizar los cortes ¹².

Los elementos básicos de los sistemas de la cirugía asistida por ordenador sin imagen son ¹²:

- a) **Elemento terapéutico:** es la zona anatómica objeto del tratamiento, en este caso la rodilla del paciente.
- b) **Elemento virtual:** es la representación virtual del elemento terapéutico en el ordenador que permite planificar y realizar la navegación durante la intervención creando un modelo anatómico. El elemento virtual en los sistemas sin imágenes se genera intraoperatoriamente tras digitalización de las superficies articulares.
- c) **Navegador:** es el punto de unión entre el elemento terapéutico y el elemento virtual. Está compuesto por tres elementos:
 1. *Plataforma informática:* es el ordenador que gestiona la coordinación del flujo de información de entrada procedente del campo quirúrgico, interpreta los datos matemáticamente y transforma la información en una visión tridimensional en un monitor.

2. *Sistema de rastreo*: es un mecanismo de comunicación entre el elemento terapéutico y la plataforma informática. Aunque hay otros basados en cables o radiofrecuencia el más utilizado se basa en el seguimiento óptico a través de rayos infrarrojos. Para ello, es necesaria una cámara óptica.
3. *Marcadores de referencia*: los marcadores activos emiten luz infrarroja, los pasivos reflejan la emitida por la cámara de rastreo. El sistema de seguimiento y el ordenador asociado realizan un proceso de triangulación para determinar la posición de cada marcador de referencia.



Figura 1. Marcadores de referencia situados en fémur y en tibia

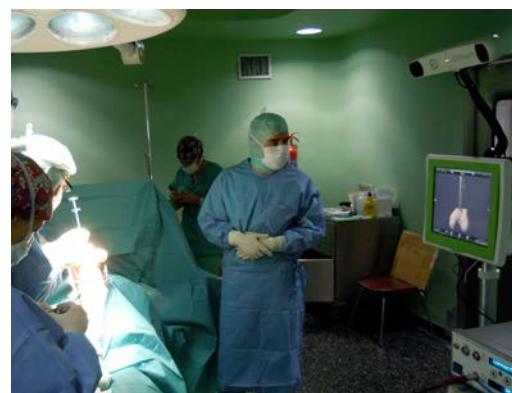


Figura 2. Navegador en el campo quirúrgico

La comunicación entre el elemento terapéutico, el elemento virtual y el navegador se realiza a través de un proceso de triangulación donde el cirujano es el encargado de localizar las estructuras de referencia¹². Existen dos métodos de referencia¹²:

- La referencia cinemática:

Permite determinar el centro de la articulación (cadera, rodilla, tobillo) sin acceder directamente a ésta. Los sistemas de navegación sin imagen estiman el centro de rotación del fémur basándose en el rango de movilidad de la cadera. El cirujano realiza rotaciones de la cadera y el programa es el que calcula su centro de rotación mediante la identificación del punto sobre el que pivota el giro.

Para el cálculo del centro del tobillo se han descrito diversos mecanismos. Algunos autores como Inkpen y Hodgson¹³ establecen el centro de tobillo en base a métodos anatómicos y métodos cinemáticos del movimiento pasivo del tobillo y pie. Otros autores como Jenny¹⁴ proponen el cálculo del centro de tobillo basándose en la dorsiflexión pasiva del tobillo y la flexión plantar.

Independientemente del modelo, lo ideal es localizar el centro de rotación del tobillo con menos de 6mm de error ya que esa medida corresponde con 1° de error del ángulo cadera-rodilla-tobillo en los planos frontal y sagital. La manera más precisa, exacta, objetiva y rápida para establecer el centro anatómico del tobillo es establecer el punto medial y lateral de ambos maléolos (Figuras 3 y 4) y es el ordenador el que calcula el punto medio entre ambos, que corresponderá al centro¹⁵.



Figura 3.

Punto medial en el maléolo tibial



Figura 4.

Punto lateral en el maléolo peroneo

- **El mapeo óseo:**

Se realiza a través de un registro de superficies que selecciona intraoperatoriamente cientos de puntos anatómicos de las diferentes estructuras a través de un puntero o mediante determinación de puntos anatómicos de referencia que permiten definir ejes como el interepicondíleo (Figura 5).

El navegador procesa los puntos obtenidos mediante ambos métodos, cinemático y de mapeo de puntos de referencia y de superficies, y genera una imagen virtual de la rodilla. De esta forma el cirujano puede conocer la cinemática pre y postquirúrgica de la extremidad, el tamaño del implante recomendado y la orientación de la resección ósea (Figuras 6 y 7).

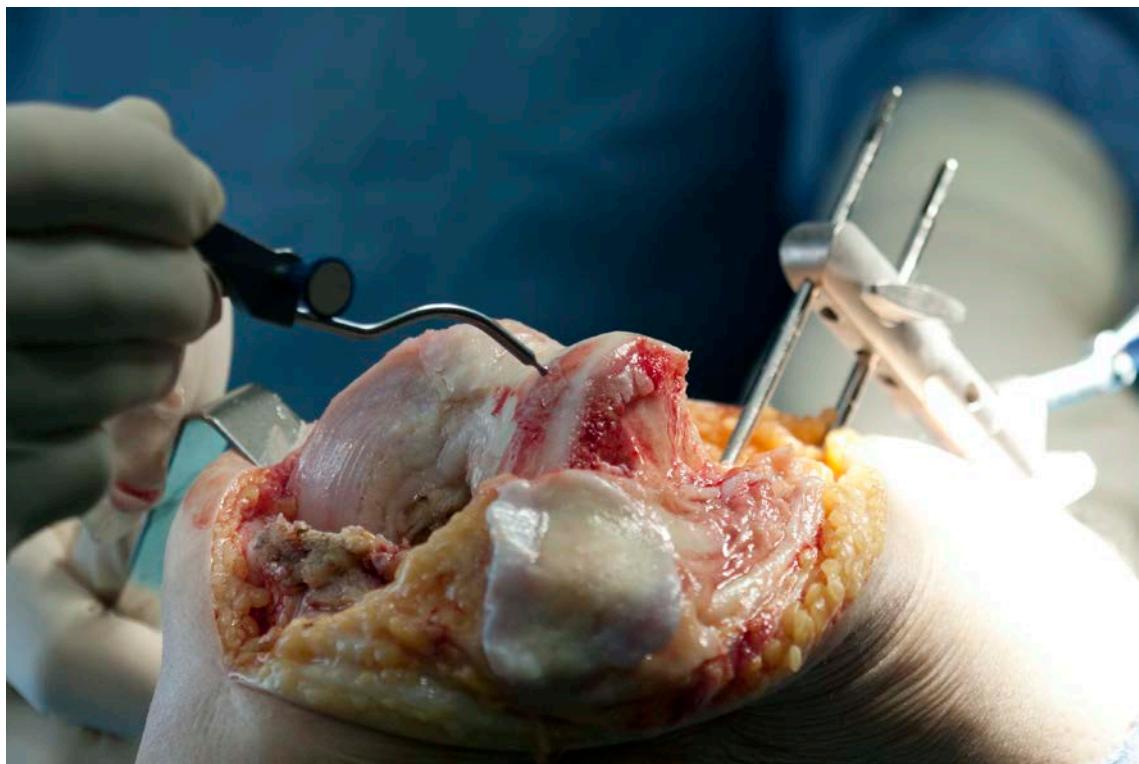


Figura 5. Mapeo de puntos de referencia y de superficie



Figura 6. Cinemática preoperatoria



Figura 7. Pantalla de planificación femoral

Se ha definido la exactitud del sistema entre 0,3 y 0,5 mm¹⁶. La digitalización debe ser precisa ya que pequeños errores en el mapeo de los puntos de referencia pueden llevar a errores significativos en la orientación. Un error de 7 mm anteroposterior en el cálculo del centro de las rodillas correspondería a 5° en el plano transversal.

En ocasiones puede ser dificultosa la digitalización de las superficies articulares de la rodilla por la presencia de irregularidades en la superficie ósea, osteofitos o defectos osteocondrales. Por ello algunos sistemas de navegación establecen el eje de rotación de la rodilla a través del movimiento pasivo de la misma¹⁷.

1.3 Ventajas de la artroplastia total de rodilla navegada

Los sistemas de navegación en la artroplastia total de rodilla han demostrado las siguientes ventajas ¹²:

- **Aumento de la reproductibilidad, objetividad y estandarización del acto quirúrgico.**
- **Aumento de la precisión de la intervención quirúrgica.**
- **Mejor alineación y posicionamiento protésico respecto al eje mecánico:**

Pese a algunos resultados discrepantes ^{18,19,20,21}, la navegación ha demostrado su capacidad para mejorar los parámetros de alineación protésica en el plano coronal y sagital ^{7,18,22,23,24,25,26,27}.

Mason et al.⁷, publicaron un metaanálisis de los resultados de la cirugía asistida por ordenador comparados con los de la artroplastia convencional de rodilla en el que concluyeron que la primera proporciona mejores resultados en términos de orientación de los componentes y restauración del eje mecánico del miembro. Estos resultados fueron confirmados en otros metaanálisis ^{22,26} que concluyeron además que la navegación en artroplastia total de rodilla reduce significativamente el número de desviaciones de la media con respecto al eje mecánico de la extremidad y posicionamiento coronal de los componentes.

- **Cuantificación del equilibrio de partes blandas:**

El éxito de los resultados clínicos y la supervivencia a largo plazo de la prótesis depende también de un correcto balance ligamentoso ⁸. El balance de partes blandas está relacionado con la alineación rotacional del componente femoral y con la simetría de los espacios en flexión y en extensión ²⁸.

La navegación ofrece la posibilidad de optimizar el balance de partes blandas mediante técnicas de liberación secuencial evaluando los espacios de una forma más objetiva al visualizar éstos numéricamente en la pantalla del navegador y cuantificando la cinemática articular intraoperatoriamente ²⁹.

- **Herramienta docente:**

La tecnología asistida por ordenador puede ser empleada en laboratorios y en quirófano como una herramienta de entrenamiento para los cirujanos. Jenny et al.³⁰ han indicado que la navegación puede reducir la curva de aprendizaje de la artroplastia total de rodilla y favorecer la comprensión de los procedimientos quirúrgicos convencionales.

- **Possible solución quirúrgica en casos atípicos:**

La cirugía navegada se puede utilizar de forma sistemática en todas las artroplastias de rodilla puesto que es un instrumento más para el cirujano, al igual que lo son las guías intra y extramedulares en artroplastia convencional de rodilla. Sin embargo, la cirugía navegada está especialmente indicada en pacientes con alteraciones morfológicas de la rodilla, de la extremidad o en presencia de material implantado previamente¹². En estos casos el empleo de una guía femoral intramedular no es posible. Cuando existen deformidades angulares del fémur o de la tibia la realización de cirugía convencional de rodilla es más difícil pues exige la realización de osteotomías o la utilización de guías cortas o extramedulares. Esto conduce a un elevado porcentaje de errores y la realización de osteotomías puede tener consecuencias negativas como pseudoartrosis y artrofibrosis¹².

La presencia de esclerosis del canal endomedular, prótesis de cadera de vástago largo o material de osteosíntesis en el interior del canal femoral impide la utilización de instrumentación endomedular¹².

La cirugía asistida por ordenador permite realizar la cirugía sin necesidad de extraer el material previamente implantado, lo que acorta el tiempo quirúrgico o elimina la necesidad de intervenciones en dos tiempos¹².

1.4 Inconvenientes de la artroplastia total de rodilla navegada

- **Aprendizaje de la nueva técnica.**

Es necesario que el cirujano realice un proceso de aprendizaje para adoptar la nueva técnica y realizarla de forma segura. A pesar de ello, la cirugía asistida por ordenador proporciona una retroalimentación visual y numérica continua que permiten acortar significativamente la curva de aprendizaje. Smith et al.³¹ indicaron que un cirujano sin ninguna experiencia previa en navegación es capaz de realizar el procedimiento en el mismo tiempo quirúrgico y con los mismos resultados funcionales y de alineación que un cirujano experto tras 20 cirugías.

- **Aumento del tiempo de la intervención.**

Gestos como la colocación de los tornillos y de las referencias, la calibración o el registro de superficies incrementan el tiempo empleado durante la cirugía. La mayoría de las revisiones coinciden en que la navegación comporta un alargamiento del tiempo quirúrgico que puede llegar hasta un 23%¹⁸.

A pesar de prolongarse el tiempo quirúrgico, no se han identificado más complicaciones (infección o pérdida hemática) con cirugía navegada respecto a cirugía convencional^{23,32}.

■ **Complicaciones intra y postoperatorias.**

Aunque la colocación de los tornillos sobre el fémur y la tibia pueda parecer fuente de nuevas complicaciones como la fractura e infección y lesión neurovascular por su inserción; los metaanálisis^{7,22} realizados no han encontrado un mayor número de complicaciones estadísticamente significativas con respecto a la cirugía no navegada.

■ **Aumento del coste económico.**

La CAO incrementa el coste económico de la cirugía porque exige la adquisición del nuevo material y prolonga la duración de la intervención quirúrgica. Es decir, hay una mayor ocupación de las instalaciones quirúrgicas.

Cabe mencionar el estudio realizado por Dong y Buxton³³, que aplicando un modelo de Markov, concluyen que la cirugía asistida por ordenador es una tecnología coste efectiva a largo plazo y predice que puede reducir los índices de revisión y las complicaciones gracias a una alineación más precisa. Sin embargo, es necesario recordar que este estudio fue realizado en base a un modelo teórico, por lo que sus conclusiones pueden ser cuestionables.

1.5 Controversias

Existen actualmente algunas cuestiones que siguen siendo objeto de controversia en cuanto a la aportación de la cirugía navegada frente a la convencional. Numerosos estudios han sido llevados a cabo sin definirse unos resultados claros. Estas son:

■ **Pérdida hemática.**

La cirugía asistida por ordenador puede disminuir teóricamente la pérdida de sangre perioperatoria al evitar la invasión del canal medular con guías metálicas, aunque su influencia en la disminución de los niveles de hemoglobina y sobre la necesidad o no de transfusión alogénica es controvertida^{34,35}.

■ **Eventos embólicos.**

La invasión del canal medular por las guías en cirugía convencional produce teóricamente una mayor liberación de grasa endomedular hacia el torrente sanguíneo, facilitando los fenómenos de embolia grasa.

La influencia de la navegación en la producción de émbolos grasos durante la cirugía ha sido estudiada por Church et al.³⁶ y O'Connor et al.³⁷. En estos estudios se analizó la presencia de émbolos a nivel de la aurícula derecha mediante ecografía transesofágica tras la retirada de la isquemia del miembro inferior. Sin embargo, estos estudios obtuvieron resultados contradic-

torios. Mientras que los primeros mostraron una significativa menor liberación sistémica de émbolos grados durante la cirugía navegada, los segundos no observaron diferencias en el número y tamaño de los émbolos entre ésta y la cirugía convencional con alineación intramedular.

■ **Resultados clínicos funcionales a largo y medio plazo.**

La influencia de la navegación en los resultados funcionales de la artroplastia total de rodilla sigue siendo controvertida.

Spencer et al.³⁸ no observaron mejores resultados clínicos tras dos años de seguimiento, aunque habían conseguido una mejor alineación con cirugía navegada. Ishida et al.³⁹ realizaron un estudio comparativo prospectivo de cinco años de duración en el que observaron un mayor rango de movilidad y KSS (Knee Society Score) específico en el grupo de las ATR navegadas, pero no encontraron diferencias en el KSS funcional.

Hoffart et al.⁴⁰, empleando el KSS, mostraron mejores resultados funcionales a cinco años en las rodillas navegadas frente a las artroplastias convencionales. Martín et al.⁴¹ en un estudio prospectivo multicéntrico realizado en tres hospitales diferentes concluyeron que el uso de CAO en ATR proporciona una alineación mecánica más precisa y resultados funcionales superiores a corto plazo en comparación con ATR convencional.

- **Navegación y cirugía mínimamente invasiva (MIS).**

Se dispone de pocos estudios que comparan la MIS, la MIS navegada y la cirugía convencional, siendo sus resultados controvertidos.

Biasca et al.⁴² describieron las principales ventajas de realizar la MIS ayudado de un sistema de navegación. Resaltaron la mayor precisión y reproductibilidad en la colocación tridimensional de la prótesis. Sin embargo, también apuntaron que el éxito de la MIS navegada era muy dependiente de la habilidad del cirujano y de su familiaridad con la instrumentación.

Por otro lado, Bonutti et al⁴³. publicaron un artículo en el que afirmaban que no existía ninguna ventaja cuando se combinaba la MIS con la navegación.

Finalmente, los estudios llevados a cabo por Dutton et al.⁴⁴ y Hasegawa et al.⁴⁵ concluyeron que la MIS navegada consigue una mejor alineación y colocación de los implantes frente a la MIS convencional.

- Navegación y prótesis unicompartmentales.

A pesar de que su uso ha disminuido en los últimos años debido a su mayor índice de revisión con respecto a la artroplastia total de rodilla, la prótesis unicompartmental constituye una opción para el tratamiento de la artrosis aislada del compartimento medial o lateral de la rodilla¹². Técnicamente, las prótesis unicompartmentales son más complejas de implantar que las totales, y la tendencia a ser colocadas a través de abordajes mínimamente invasivos incrementa aún más la dificultad para su correcto posicionamiento.

La CAO debería facilitar la realización de esta técnica. Hoy en día existen, sin embargo, pocos sistemas diseñados para esta finalidad y escasos trabajos que recojan los resultados a medio o largo plazo de su aplicación, siendo además éstos contradictorios. Si bien algunos autores encuentran una mayor proporción de rodillas bien alineadas⁴⁶, la mayoría no observan diferencias significativas ni en cuanto a la alineación final^{46,47} ni en cuanto a los resultados clínicos a medio⁴⁸ o largo plazo⁴⁹.

- Navegación y cirugía de revisión

El uso de la navegación en los casos de revisión, en los que las referencias anatómicas a menudo han desaparecido debido a la pérdida ósea, continúa siendo objeto de investigación. Con ayuda de la navegación, la posición de las guías de corte y el nivel de los implantes originales pueden ser monitorizados continuamente, proporcionando durante la cirugía datos acerca de la posición de la interlínea articular y de la alineación femorotibial.

El empleo del software estándar de ATR primaria para la artroplastia de revisión ha permitido una mejora significativa de la precisión de implantación. Sin embargo, el desarrollo de software específico permitirá cubrir las especiales demandas del recambio protésico tales como la navegación de vástagos, relleno de defectos y reconstrucción de la interlínea articular¹².

2. OBJETIVOS

El objetivo primario de este estudio es comparar los resultados obtenidos en alineación en el plano coronal del ángulo cadera, rodilla, tobillo (ángulo mecánico femorotibial o eje mecánico) de las prótesis realizadas mediante navegación con aquellas realizadas mediante instrumentación convencional.

3. HIPÓTESIS OPERATIVAS

- La **hipótesis nula** (H_0) establece que no existen diferencias estadísticamente significativas en la alineación en el plano coronal o si existen, estas pueden ser atribuidas al azar o a la variabilidad inherente a los fenómenos biológicos, entre el grupo caso (constituido por pacientes en los que se ha empleado un sistema de navegación) y el grupo control (constituido por pacientes en que se ha empleado instrumental convencional) sometidos a cirugía de artroplastia de rodilla.
- La **hipótesis alternativa** (H_1) establece que sí existen diferencias significativas en la alineación en el plano coronal que no pueden ser atribuidas al azar o a la variabilidad inherente a los fenómenos biológicos entre el grupo caso (constituido por pacientes en los que se ha empleado un sistema de navegación) y el grupo control (constituido por pacientes en que se ha empleado instrumental convencional) sometidos a cirugía de artroplastia de rodilla.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Diseño de la investigación

Este trabajo se basa en la realización de un estudio observacional analítico longitudinal retrospectivo de dos cohortes de pacientes sometidos a artroplastia total de rodilla. El grupo C, intervenido mediante instrumentación convencional por un cirujano del Hospital Obispo Polanco de Teruel, y el grupo N intervenido mediante cirugía navegada por otro cirujano en el Hospital Universitario Miguel Servet de Zaragoza entre el 1 de enero de 2017 y el 31 de diciembre de 2017. Los criterios de inclusión fueron: ATR realizadas durante el año 2017 por dos cirujanos, uno de ellos con cirugía convencional y el segundo con CAO, por gonartrosis primaria o secundaria tras fracaso del tratamiento conservador.

4.2 Descripción de la muestra

Un total de 101 pacientes fueron intervenidos de artroplastia total de rodilla por 2 cirujanos. Un cirujano realizó la ATR con técnica convencional en 50 pacientes (Grupo C) y el otro practicó cirugía asistida por navegación en 51 pacientes (Grupo N). Ambos cirujanos contaban con experiencia en artroplastia de rodilla con más de 50 prótesis anuales.

La etiología fue artrosis primaria en 94 casos, en 4 casos (1 del grupo de cirugía navegada y 3 del convencional) fue artritis reumatoide, en 2 casos correspondientes al grupo de cirugía

navegada fue osteonecrosis del cóndilo interno y en 1 caso correspondiente al grupo de cirugía convencional fue artrosis postraumática.

En la distribución por sexos hubo predominio de mujeres (n=69, 68,32%) sobre hombres (n=32, 31,68%). La edad media de los pacientes fue de 70,14 años, con rango entre 43 y 85 años y desviación estándar [DE] 9,35 años. La edad media para el grupo de las mujeres fue de 72,48 años (DE=8,66) frente a una media de 65 años (DE=8,88) para los varones, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los dos sexos p=0,00 (-11.09,-3.67).

El número total de rodillas operadas izquierdas y derechas fue de 53 (52,48%) y 48 (47,52%), respectivamente.

Del total de rodillas intervenidas, 14 rodillas (13,9%) presentaron una alineación preoperatoria neutra, 24 rodillas (23,8%) estaban desviadas en valgo y 63 (62,3%) mostraron una desviación en varo. La media de desviación del eje con respecto a 0° inicial fue de 6,54° (DE=4,47), siendo la media de desviación para las rodillas con desviación en varo de 7,43° (DE=4,07) y de 8,04° (DE=3,43) para las rodillas con desviación en valgo.

4.3 Intervención quirúrgica

4.3.1 Cirugía convencional

En la ATR por cirugía convencional se emplearon prótesis de rodilla tricompartimentales modelo Optetrak Logic Primary System® (Exactech Inc, Gainesville, Florida, EEUU) posteroestabilizadas (PS) mediante técnica de alineación intramedular y balance de espacios.

Tras la anestesia intradural, se colocó al paciente en decúbito supino y con tope lateral. Se procedió a la realización de isquemia con venda elástica y colocación de torniquete con manguito neumático a 280 mmHg. Se realizó un abordaje parapatelar medial con la rodilla en flexión. A través de un orificio situado entre ambas espinas tibiales se insertó una guía de alineación intramedular sobre la cual se colocó la guía de corte tibial para realizar un corte transversal a 90° con respecto al eje tibial longitudinal y con 7° de pendiente posterior en el plano sagital. Una vez realizado el corte tibial se procedió a colocar la guía intramedular femoral mediante un orificio en el surco intercondíleo inmediatamente anterior a la inserción del ligamento cruzado posterior. Tras colocar la guía se realizó el corte distal femoral con unos grados de valgo correspondientes a la diferencia medida entre el eje anatómico y el eje mecánico del fémur. En este momento se colocaron bloques espaciadores para medir el espacio en extensión, realizándose liberaciones de partes blandas (medial o lateral) si el espacio en extensión era asimétrico. Tras

colocar la guía correspondiente, se procedió a realizar el corte de los cóndilos femorales posteriores con una rotación externa sobre la línea intercondílea posterior de 3° y a la medición, también con bloques espaciadores, del espacio femorotibial en flexión. Si éste resultaba asimétrico o existía una discrepancia mayor de 3 mm con respecto al espacio en flexión, se procedía a realizar liberaciones de partes blandas según técnica secuencial de Whiteside^{50,51}. Una vez equilibrados los espacios de flexión y extensión se realizaron el corte anterior y los cortes en chaflán del fémur, cementándose los componentes definitivos de la prótesis.

La rótula se protetizó sólo en aquellos casos en los que existía un desgaste significativo del cartílago.

Se colocaron tres drenajes aspirativos de tipo redón y se procedió al cierre de la incisión con suturas reabsorbibles y grapas en piel inoculándose 2 gramos de ácido tranexámico tópico en la articulación.

4.3.2. Cirugía navegada

En las ATR asistidas por ordenador se implantaron prótesis de rodilla Apex® (OMNI life-Science, East Taunton, Massachusetts, EEUU) ultracongruente.

Tras la anestesia intradural, se colocó al paciente en decúbito supino y con tope lateral. Se realizó la isquemia del miembro inferior con venda elástica y se colocó un torniquete con manguito neumático a 280 mmHg. Se accedió a la articulación a través de un abordaje parapatelar medial estándar con eversión de la rótula. Se empleó el sistema de navegación Total Knee Surgetrics® (PRAXIM SA, La Tronche, Francia) versión 7.9. Este es un sistema de navegación cerrado, sin imágenes previas, que emplea el análisis cinemático de cadera, puntos de referencia en rodilla y tobillo y un mapeo anatómico de las superficies articulares de rodilla para construir un modelo de trabajo.

Tras colocar los captadores de infrarrojos mediante tornillos con fijación bicortical en las metáfisis distal del fémur y proximal de la tibia y resecar los osteofitos, se localiza el centro de giro de la cabeza femoral mediante movimientos de rotación de la cadera. Tras proporcionar al ordenador la localización del centro de la rodilla, mediante señalización con el puntero del centro del surco intercondíleo y del centro de la meseta tibial, el ordenador calcula el centro del tobillo como el punto medio entre la punta de ambos maléolos.

Una vez obtenido el eje mecánico de la extremidad a partir de estos tres puntos de referencia (centro de cadera, rodilla y tobillo) el sistema proporciona la localización del corte tibial a 90° con respecto al eje mecánico de la tibia en el plano coronal y con 4º de pendiente posterior

en el plano sagital. Aplicando la técnica de cortes dependientes mediante liberaciones secuenciales con un distractor, se calcula el corte femoral para obtener unos espacios simétricos en extensión y en flexión de 90° con igual tensión de partes blandas. La rotación del componente femoral varía en función del espacio en flexión con objeto de obtener en éste una simetría con respecto al espacio en extensión.

Todos los componentes fueron cementados y, en todos los casos se procedió a proteger la rótula, colocándose un único drenaje aspirativo a través del que se inocularon 2 g de ácido tranexámico tópico intraarticular.

Todos los pacientes de ambos grupos siguieron el mismo régimen de rehabilitación postoperatoria, con movilización precoz y carga inmediata.

4.4 Variables a estudio

Las variables recogidas fueron:

- Edad
- Sexo
- Lado intervenido
- Etiología
- Complicaciones
- Técnica quirúrgica
- Alineación preoperatoria (Ángulo femorotibial mecánico)
- Alineación Postoperatoria (Ángulo femorotibial mecánico)
- Número de casos con alineación óptima entre 3° de varo y 3° de valgo con respecto al eje neutro (0°)

Todas ellas fueron registradas en un archivo Excel® (Microsoft, Redmond, Washington, EEUU) para su posterior análisis. Los datos están recogidos en la Tabla 1 de Anexos.

4.5 Evaluación radiológica

Para la evaluación radiológica se utilizaron proyecciones anteroposteriores y laterales simples postoperatorias, así como telemetría en bipedestación realizadas preoperatoriamente y un mes tras la intervención para medir el ángulo mecánico cadera-rodilla-tobillo.

Las mediciones se realizaron digitalmente con el visor Raim Java 2009 disponible en la Historia Clínica Electrónica del Servicio Aragonés de Salud sobre radiografías tomadas con los

miembros inferiores en extensión completa, con las tuberosidades tibiales anteriores mirando al frente y los maléolos mediales separados 30 cm.

El **ángulo mecánico fémoro-tibial** se calculó, de acuerdo a la guía de mediciones de la Sociedad Española de Rodilla (SEROD)⁵², conectando el centro de la cabeza femoral, el centro de la rodilla y el centro del tobillo. Para evitar errores, el *centro de la cabeza femoral* se localizó empleando una referencia circular (Figura 8). El *centro de la rodilla* fue calculado como el punto medio entre el centro de la escotadura intercondílea y el centro de la muesca de las espinas tibiales en la radiografía preoperatoria y entre el centro de la escotadura intercondílea y el centro de la bandeja tibial en la radiografía postoperatoria. El *centro del tobillo* se calculó con la proyección hasta la interlínea del punto medio de una línea recta entre la punta del maléolo lateral y la cortical más prominente del medial (Figura 9). Las medidas fueron realizadas por dos observadores diferentes. En caso de discrepancia se procedía a la repetición de la medición. Se consideró como alineación óptima de la extremidad protetizada aquella que se encontraba entre 3° de varo y 3° de valgo con respecto al eje mecánico neutro (0°).

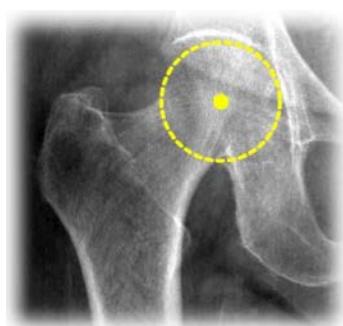


Figura 8. Tomado de guía de mediciones de la SEROD⁵² con permiso del Dr. Vicente León

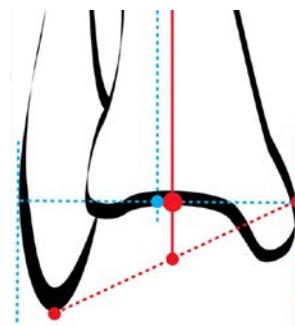


Figura 9. Tomado de guía de mediciones de la SEROD⁵² con permiso del Dr. Vicente León

4.6 Análisis estadístico

Se comprobó que todas las variables a estudio presentaban una distribución normal con el test Kolmogorov-Smirnov. Para la comparación de variables cualitativas dicotómicas (navegación sí o no, alineación ±3° o no) se empleó el test Chi cuadrado. Para la comparación de medias de las variables cuantitativas con las variables cualitativas de la muestra se empleó la prueba t de Student. Se consideraron significativos valores de $p < 0,05$.

El análisis estadístico de datos se realizó utilizando el paquete estadístico SPSS de 2012 (IBM SPSS Statistics para Windows, versión 21.0, IBM Corporation, Armonk, Nueva York, EE. UU.)

4.7 Manejo de la bibliografía

Se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica electrónica en las bases de datos Medline, Pubmed, EMBASE y the Cochrane library introduciendo los siguientes términos y operadores booleanos: *Computer assisted surgery OR navigated AND total knee arthroplasty AND alignment.*

Se ha utilizado Zotero ® como gestor de referencias bibliográficas.

4.8 Implicaciones éticas y legales

El estudio fue aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica de Aragón (CEICA) con el número de identificación PI18/044 TA.

Al ser éste un estudio retrospectivo sobre imágenes radiológicas y garantizarse durante el proceso el anonimato de los datos personales de acuerdo con la Ley Orgánica de Protección de Datos, no fue necesario recabar consentimiento informado explícito para la participación en el estudio.

5. RESULTADOS

5.1 Descripción preoperatoria de la muestra

Se recogen los datos en las tablas 1 y 2 del anexo.

5.1.1 Sexo

De los pacientes intervenidos mediante técnica navegada, 18 pacientes (35,3% del total navegado) fueron hombres y 33 (64,7% del total navegado) fueron mujeres. En cuanto a la técnica convencional, 14 pacientes (28% del total convencional) fueron hombres y 36 (72% del total convencional) fueron mujeres. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el sexo de los pacientes y la técnica empleada $p=0,43$.

5.1.2 Edad

La media de edad para los pacientes intervenidos por técnica navegada fue de 72,54 años ($DE=8,00$) frente a una media de 67,77 años ($DE=10,03$) de los pacientes intervenidos por técnica convencional. Existieron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos $p=0,00$ (1.32,8.48).

5.1.3 Alineación inicial

La alineación inicial preoperatoria de las rodillas intervenidas (Varo, Valgo, Neutra) se incluye en la tabla 3. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la alineación inicial y la técnica empleada $p=0,46$.

Tipo de cirugía		Alineación preoperatoria			Total
		Rodilla NEUTRA	Rodilla en VALGO	Rodilla en VARO	
Convencional	Número	9	12	29	50
	Porcentaje respecto al tipo de cirugía	18,0%	24,0%	58,0%	100,0%
	Porcentaje respecto alineación previa	64,3%	50,0%	46,0%	49,5%
	Porcentaje respecto al total	8,9%	11,9%	28,7%	49,5%
Navegada	Número	5	12	34	51
	Porcentaje respecto al tipo de cirugía	9,8%	23,5%	66,7%	100,0%
	Porcentaje respecto alineación previa	35,7%	50,0%	54,0%	50,5%
	Porcentaje respecto al total	5,0%	11,9%	33,7%	50,5%
Total	Número	14	24	63	101
	Porcentaje respecto al tipo de cirugía	13,9%	23,8%	62,4%	100,0%
	Porcentaje respecto alineación previa	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Porcentaje respecto al total	13,9%	23,8%	62,4%	100,0%

Tabla 3. Alineación preoperatoria de las rodillas intervenidas.

5.1.4 Ángulo inicial medido en grados

Considerando la desviación con respecto a 0° , la media de desviación de los pacientes intervenidos mediante técnica navegada inicial fue de $6,51^\circ$ ($DE=3,79$) y de $6,58^\circ$ ($DE=5,11$) para los pacientes intervenidos con técnica convencional. No existieron diferencias entre las medias de desviación inicial frente a la técnica empleada $p=0,93$ (-1,84, 1,70).

5.2 Resultados de alineación postoperatoria

5.2.1 Alineación postoperatoria

La alineación final del implante obtenida según técnica quirúrgica se recoge en la tabla 4. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre las dos técnicas empleadas $p=0,52$. Es decir, ambos grupos fueron homogéneos en cuanto a la obtención de alineación en varo, valgo y neutro.

Tipo de cirugía		Alineación postoperatoria			Total
		Alineación final neutra	Alineación final en valgo	Alineación final en varo	
Convencional	Número	7	20	23	50
	Porcentaje respecto al tipo de cirugía	14,0%	40,0%	46,0%	100,0%
	Porcentaje respecto alineación previa	43,8%	57,1%	46,0%	49,5%
	Porcentaje respecto al total	6,9%	19,8%	22,8%	49,5%
Navegada	Número	9	15	27	51
	Porcentaje respecto al tipo de cirugía	17,6%	29,4%	52,9%	100,0%
	Porcentaje respecto alineación previa	56,3%	42,9%	54,0%	50,5%
	Porcentaje respecto al total	8,9%	14,9%	26,7%	50,5%
Total	Número	16	35	50	101
	Porcentaje respecto al tipo de cirugía	15,8%	34,7%	49,5%	100,0%
	Porcentaje respecto alineación previa	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Porcentaje respecto al total	15,8%	34,7%	49,5%	100,0%

Tabla 4. Alineación postoperatoria de las rodillas intervenidas.

5.2.2 Ángulo final postoperatorio medido en grados

El número de pacientes que mostraban una alineación postoperatoria considerada óptima, es decir un ángulo mecánico femorotibial comprendido entre 3° de varo y 3° de valgo, fue significativamente mayor en el grupo de ATR navegada, 49 pacientes (96,1 %), frente a 37 pacientes (74 %) en el grupo de ATR convencional ($p=0,002$). Información recogida en la Tabla 5.

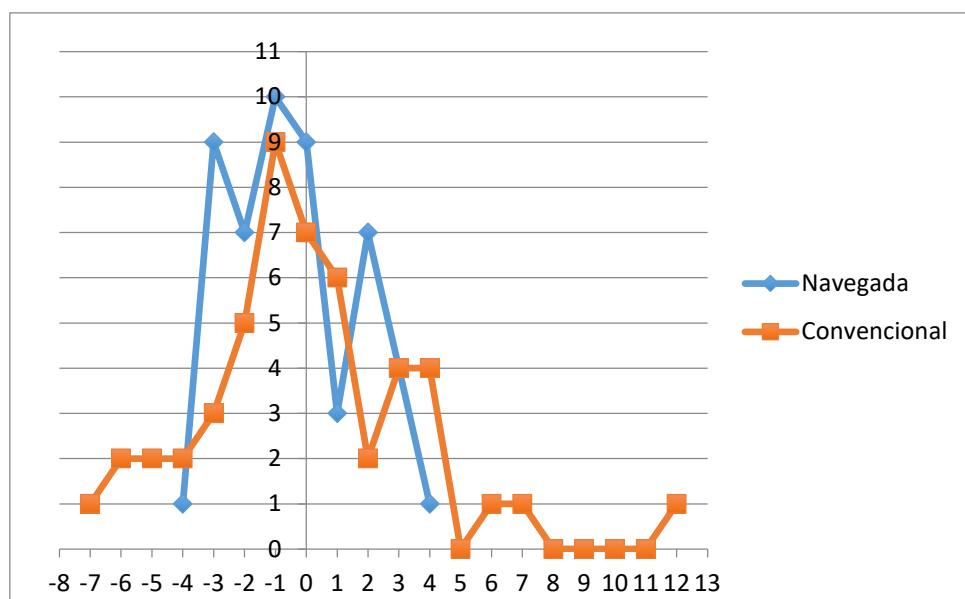


Figura 10. Distribución de frecuencias de la alineación postoperatoria según técnica quirúrgica.

Tipo cirugía		Alineación final		Total
		Fuera de rango	Entre 0°y ± 3°	
Convencional	Número	13	37	50
	Porcentaje respecto al tipo de cirugía	26,0%	74,0%	100,0%
	Porcentaje respecto alineación final	86,7%	43,0%	49,5%
	Porcentaje respecto al total	12,9%	36,6%	49,5%
Navegada	Número	2	49	51
	Porcentaje respecto al tipo de cirugía	3,9%	96,1%	100,0%
	Porcentaje respecto alineación final	13,3%	57,0%	50,5%
	Porcentaje respecto al total	2,0%	48,5%	50,5%
Total	Número	15	86	101
	Porcentaje respecto al tipo de cirugía	14,9%	85,1%	100,0%
	Porcentaje respecto alineación final	100,0%	100,0%	100,0%
	Porcentaje respecto al total	14,9%	85,1%	100,0%

Tabla 5. Ángulo femorotibial final postoperatorio.

5.2.3 Valores atípicos y edad

La media de edad para los pacientes que se encontraron entre $\pm 3^\circ$ de varo/valgo final fue de 70,35 años (DE=9,00) frente a una media de edad de 68,93 años (DE=11,44) de los pacientes fuera de ese rango. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la edad y los resultados favorables o no $p=0,59$ (-3.79,6.62).

5.2.4 Valores atípicos y sexo

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el resultado $\pm 3^\circ$ y el sexo de los pacientes $p=0,65$.

5.3 Complicaciones

Las tasas de complicaciones fueron similares en los 2 grupos, observándose un seroma en el grupo de navegación y una infección superficial en el grupo convencional que se resolvió con antibioterapia. No aparecieron complicaciones en relación con el uso de los tornillos en las rodillas navegadas.

5.4 Integración de los implantes

Al mes postoperatorio, el examen radiológico confirmó la buena fijación de los componentes en todos los pacientes. Aunque no es objeto de este trabajo la valoración de la integración radiológica de los implantes por haber sido realizado en un periodo de seguimiento muy corto, no se observaron migraciones de implantes ni radiolucencias en ningún paciente.

6. DISCUSIÓN

Cada vez se implantan prótesis de rodilla a pacientes más jóvenes y por ello, nace la necesidad de prolongar la vida de éstas lo máximo posible. Una gran variedad de factores pueden determinar la longevidad y supervivencia de las artroplastias: balance de tejidos blandos, precisión en la alineación de la prótesis, ausencia de complicaciones postoperatorias y el correcto diseño y fabricación de los implantes. De todos estos, un factor que depende directamente de la técnica quirúrgica es la alineación de la prótesis. Aunque existe controversia en cuanto a lo que constituye una inadecuada alineación significativa, se ha aceptado generalmente que la alineación con una desviación comprendida entre 3° en varo o valgo con respecto al eje neutro es probable que conduzca a la obtención de mejores resultados^{53,54,55,56}.

Varios estudios han demostrado que las prótesis totales de rodilla que se alejan de este intervalo en el plano coronal tienen más riesgo de aflojamiento y fracaso temprano del implante^{21,57,58}. Con el objetivo de reducir los recambios protésicos por estos motivos, el uso de sistemas de navegación sin imágenes ha aumentado en estas últimas décadas. Según el registro australiano de artroplastias ha habido un aumento en ese país desde 2003 (2,4%) hasta 2016 (30.8%) de un 26,2% en su uso⁵⁹.

Brin et al.²², en un metaanálisis de 20 artículos que incluían 4.199 artroplastias de rodilla, encontraron una reducción de hasta un 80% en el número de resultados atípicos, fuera del rango de $\pm 3^\circ$ de varo/valgo de eje mecánico de la extremidad cuando se empleaba la navegación. Concluyeron que la navegación sin imágenes mejora la orientación de los componentes y la alineación postoperatoria de las extremidades. La conclusión más importante de este estudio es que el uso de CAO sin imágenes reduce significativamente el número de valores atípicos en el eje mecánico de la extremidad y mejora significativamente la posición coronal de los implantes.

Previamente, otro metaanálisis⁷ había investigado la efectividad de la cirugía navegada versus la convencional. Este estudio también concluyó que la navegación proporcionaba mejo-

res resultados en la alineación coronal, pero era muy heterogéneo, ya que analizó estudios aleatorizados prospectivos, ensayos controlados cuasi-aleatorios, estudios de cohortes no aleatorizados, estudios con cohortes históricas y estudios que investigaban tanto el resultado de la navegación basada en tomografía computarizada como de sistemas de navegación sin imágenes, incluyendo no sólo prótesis totales sino también unicompartmentales. Sin embargo, el trabajo de Brin et al.²² es el primer metaanálisis en la literatura que analiza solo sistemas de navegación sin imágenes.

Zhang et al.²³ llevaron a cabo un estudio prospectivo en el que seleccionaron un grupo de 32 pacientes con artrosis bilateral de rodilla que fueron intervenidos de ATR bilateral simultáneamente y utilizando el mismo tipo de implante en ambas articulaciones, pero diferentes técnicas quirúrgicas. En un mismo paciente, de forma aleatoria, se realizó la ATR de una articulación con cirugía convencional y de la otra con cirugía asistida por navegación. Al igual que en nuestro estudio, concluyeron que existían diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos respecto a la alineación de sus implantes en los planos coronal y sagital. Mientras que todas las prótesis implantadas por navegación estaban alineadas respecto al eje mecánico, sólo el 72 % de las convencionales estaban dentro de los valores considerados de normalidad del eje. Resultados similares hemos obtenido en nuestro estudio ya que el 96,1% de los pacientes intervenidos por CAO habían conseguido una alineación de su eje mecánico entre los valores propuestos como resultado favorable mientras que sólo un 74% lo habían obtenido en cirugía convencional.

Huang et al.²⁴ realizaron un estudio en el que se seleccionaron 113 pacientes con artrosis bilateral y deformidades en genu varo que se iban a someter a una PTR bilateral. De forma aleatorizada se decidió qué PTR (misma marca y modelo) se implantaba por CAO o cirugía convencional en cada rodilla del paciente. El objetivo del estudio era comparar la precisión de la colocación de los componentes de la prótesis y la alineación de la extremidad inferior tras las intervenciones quirúrgicas. Además, en este trabajo se quería ver si el uso de CAO era significativamente más beneficioso a la hora de realizar PTR en extremidades con grandes desviaciones del eje mecánico preoperatorias. Concluyeron que mientras que no había diferencias estadísticamente significativas entre ambas técnicas para aquellas desviaciones del eje axial inferiores a 15°, sí que las había para las desviaciones en varo preoperatorias superiores a 20°, obteniendo la CAO mejores resultados ya que la reconstrucción del eje mecánico fue más próxima a la considerada como normal. Aunque no se observó una diferencia estadísticamente significativa entre ambas técnicas en deformidades menores, de acuerdo a los parámetros radiográficos evaluados, sí que se describió que el porcentaje de rodillas alineadas respecto al eje mecánico era

superior en CAO. En nuestro estudio no hay diferencias significativas de acuerdo a la alineación inicial entre los grupos de CAO y técnica convencional ($p=0.93$), siendo ambos grupos homogéneos en cuanto al eje mecánico preoperatorio, por lo que no se ha podido evaluar si realmente existe una ventaja en la cirugía navegada para el tratamiento de grandes deformidades.

Fu et al.²⁵ realizaron un metaanálisis en el que evaluaron si existían diferencias en los resultados de alineación entre cirugía navegada y convencional. Para ello, estudiaron 21 artículos publicados entre 2005 y 2010 sobre este tema, incluyendo un total de 2414 pacientes. Dieciocho de los artículos analizados valoraban específicamente la alineación del eje mecánico comparando ambas técnicas, incluyendo un total de 2139 pacientes. El metaanálisis indicó en sus resultados que existía una alineación fuera del rango de normalidad del eje mecánico ($\pm 3^\circ$) significativamente superior en el grupo de cirugía convencional (28.7%) que en el de CAO (12.1%). La Odds Ratio (OR) del metaanálisis fue de 0.26 para un intervalo de confianza (IC) del 95% (0.17–0.38), por lo que la CAO fue considerada como un factor protector para conseguir una correcta la alineación del eje mecánico postquirúrgico.

Cheng et al.²⁶ realizaron un metaanálisis para evaluar los resultados obtenidos en CAO en relación con la alineación y colocación del implante en PTR, comparando los resultados con los de cirugía convencional. Seleccionaron 33 artículos en los que se comparaban la cirugía convencional y la navegada sin el uso previo de TAC. Este grupo de análisis mostró que mientras que el 13.4% de las PTR implantadas con CAO estaban fuera de la alineación del eje mecánico, el 28.5% lo estaban en cirugía convencional.

Resultados similares obtienen **Hetaimish et al.**²⁷ en su metaanálisis, en el que evaluaron 23 artículos, siendo uno de sus objetivos el mismo que el de nuestro trabajo: comparar los resultados en la alineación del eje mecánico en PTR implantadas por cirugía convencional y CAO. Sus resultados incluyen que un 30.1% de los pacientes intervenidos por cirugía convencional están fuera del rango de normalidad del eje ($\pm 3^\circ$) mientras que un 12.8% de los pacientes intervenidos por CAO lo están. Es decir, hay una reducción de un 17.3% de valores atípicos en CAO respecto a cirugía convencional. En los resultados de nuestro estudio también hay una reducción del 22.1% de las desviaciones del eje mecánico respecto al neutro significativamente menor en cirugía navegada que convencional ($p=0.002$). Hetaimish et al.²⁷ concluyen que el riesgo relativo de producir una desviación en el eje mecánico superior a $\pm 3^\circ$ respecto al eje neutro comparando CAO y cirugía convencional es de 0.37 (IC 95% [0.24-0.58]; $p<0.00001$).

Rebal et al.⁶⁰ realizaron un metaanálisis, que incluía exclusivamente estudios de nivel 1 de evidencia, en el que se comparaba la cirugía navegada sin utilización de imágenes TAC y la

cirugía convencional. Concluyeron que había una alineación postoperatoria del eje mecánico más frecuente en cirugía navegada (87.1%) que en la convencional (73.7%), siendo estos resultados estadísticamente significativos ($p<0.01$).

Song et al.⁶¹ realizaron un estudio prospectivo en el que examinaron los resultados radiológicos y clínicos de 80 pacientes (88 rodillas) que fueron intervenidos de PTR, asignando aleatoriamente el tipo de cirugía (navegada o convencional) a la que se sometería cada paciente. En cuanto a los valores atípicos obtenidos con ambas técnicas concluyen resultados similares a los nuestros (3.9% en cirugía navegada y 26% en cirugía convencional, $p=0.002$). En su estudio llegaron a la conclusión de que había una reducción significativa de los valores atípicos postoperatorios en cirugía navegada (7.3%) respecto a la convencional (20%).

Resultados similares obtuvieron **Martín-Hernández et al.**⁴¹ en su estudio prospectivo multicéntrico. Su objetivo era comparar los resultados radiológicos y clínicos de la ATR convencional y navegada tras un seguimiento de tres años. En este estudio se compararon los resultados en la alineación del eje mecánico de 119 pacientes intervenidos de ATR navegada y 80 pacientes intervenidos por cirugía convencional. Concluyeron que el ángulo mecánico fémoro-tibial comprendido entre 3° de varo y 3° de valgo fue significativamente mayor en el grupo de ATR navegada (93%) frente al 71 % en ATR convencional ($p<0,01$). Concretamente indicaron que la desviación respecto al eje mecánico neutro fue de $0,77 \pm 4,3^\circ$ en el grupo convencional y de $1,19 \pm 5,8^\circ$ en el grupo de ATR navegada. En nuestro estudio también se detectó una mejoría de la alineación del eje mecánico en cirugía navegada, consiguiendo una alineación en el eje neutro en un 22.1 % más de pacientes.

Algunos autores, sin embargo, han obtenido resultados dispares^{18,19,20,21} y por ello, hemos considerado interesante comparar la alineación coronal protésica postoperatoria en ATR entre CAO y cirugía convencional en este estudio.

Bauwens et al.¹⁸ realizaron un metaanálisis con el objetivo de evaluar las ventajas del uso de cirugía navegada en la implantación de PTR. Se incluyeron 33 estudios en su metaanálisis y llegaron a la conclusión de que no existían diferencias significativas entre ambas técnicas. La media de alineación postoperatoria del eje mecánico en cirugía navegada era de 179.7°, mientras que la media de alineación del eje en cirugía convencional era de 179.9°, es decir, había una diferencia de 0.2°. Por ello, consideraron que no existían diferencias significativas entre ambas técnicas ($p=0.308$). En nuestro estudio, sin embargo, la media global de desviación con respecto a 0° final es de 2.56° en técnica convencional frente a una media de 1.73° para la técnica navegada, siendo estas diferencias estadísticamente significativas ($p=0.026$).

En un estudio liderado por **Kim et al.**¹⁹ que consistía en implantar una PTR en ambas rodillas a 520 pacientes con artrosis bilateral, se implantó cada prótesis mediante una técnica quirúrgica distinta -CAO o cirugía convencional-. De acuerdo con sus resultados radiográficos concluyeron que no existían diferencias significativas entre ambas técnicas ($p=0,912$). También emplean el TAC para evaluar la rotación del componente femoral y el eje mecánico postoperatorio en el plano coronal obteniendo resultados similares a los obtenidos en las radiografías ($p=0,821$).

Allen et al.²⁰ elaboraron un estudio prospectivo controlado y aleatorizado sobre 37 pacientes en los que realizaron un reemplazo bilateral de rodilla, convencional en una de ellas y navegado en la otra. Empleando la TAC para evaluar la alineación postoperatoria en el plano coronal, sagital y trasversal, no encontraron diferencias entre ambas técnicas, concluyendo que el uso rutinario de la navegación no es necesario para mejorar el posicionamiento de la prótesis. Sin embargo, los propios autores refieren que este trabajo está realizado en un grupo pequeño de pacientes, por lo que sus conclusiones son limitadas.

También cabe mencionar el metaanálisis realizado por **Van der List et al.**²¹ en 2016 en el que se concluyó que no existen diferencias significativas en cuanto al control de la alineación y posición de los componentes en ATR convencional o navegada. En este metaanálisis se atribuye exclusivamente una mejoría significativa de resultados en el manejo de partes blandas en cirugía navegada.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Las limitaciones de este estudio incluyen la ausencia de un proceso controlado de aleatorización y un corto periodo de seguimiento. Los pacientes fueron sometidos a cirugía por 2 cirujanos diferentes con 2 tipos de implantes. Sin embargo, es poco probable que el uso de dos modelos protésicos diferentes, uno ultracongruente y otro posteroestabilizado implique un sesgo, ya que la literatura no muestra diferencias estadísticamente significativas en los resultados clínicos y radiológicos entre ambos tipos de prótesis⁶².

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con nuestro estudio, el uso de la cirugía asistida por ordenador en la artroplastia total de rodilla proporciona una mejor alineación postoperatoria en el plano coronal, siendo significativamente mayor el número y porcentaje de casos que presentan un eje mecánico considerado óptimo entre tres grados de varo y tres grados de valgo con respecto al eje mecánico neutro cuando se emplea la navegación.

8. NIVEL DE EVIDENCIA

Nivel de evidencia III. Estudio retrospectivo comparativo.

9. RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Protección de personas y animales.

Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos.

Los autores declaran que se han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado.

Los autores declaran que en este trabajo no aparecen datos identificativos de pacientes.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Fernandez-Lopez JC, Laffon A, Blanco FJ, Carmona L, EPISER Study Group. Prevalence, risk factors, and impact of knee pain suggesting osteoarthritis in Spain. *Clin Exp Rheumatol.* 2008;26(2):324-32.
2. Bonner TJ, Eardley WGP, Patterson P, Gregg PJ. The effect of post-operative mechanical axis alignment on the survival of primary total knee replacements after a follow-up of 15 years. *J Bone Joint Surg Br.* 2011;93(9):1217-22.
3. Moreland JR. Mechanisms of failure in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;(226):49-64.
4. Sharkey PF, Lichstein PM, Shen C, Tokarski AT, Parvizi J. Why are total knee arthroplasties failing today-has anything changed after 10 years? *J Arthroplasty.* 2014;29(9):1774-8.
5. Fehring TK, Odum S, Griffin WL, Mason JB, Nadaud M. Early failures in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(392):315-8.
6. Ritter MA, Davis KE, Meding JB, Pierson JL, Berend ME, Malinzak RA. The effect of alignment and BMI on failure of total knee replacement. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(17):1588-96.
7. Mason JB, Fehring TK, Estok R, Banel D, Fahrbach K. Meta-analysis of alignment outcomes in computer-assisted total knee arthroplasty surgery. *J Arthroplasty.* 2007;22(8):1097-106.
8. Haritinian EG, Pimpalnerkar AL. Computer Assisted Total Knee Arthroplasty: Does it Make a Difference? *Maedica (Buchar).* 2013;8(2):176-81.
9. Picard F, Moody J, Jaramaz B, DiGioia AM, Nikou C, LaBarca RS, 2000. A classification proposal for computer-assisted knee systems. In: Delp, DiGioia, Jaramaz (Eds.), *MICCAI 2000: Third International Conference.* Springer, Pittsburgh, PA, pp. 1145–1151.
10. Honl M, Dierck O, Gauck C, Carrero V, Lampe F, Dries S, et al. Comparison of robotic-assisted and manual implantation of a primary total hip replacement. A prospective study. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85-A (8):1470-8.
11. Matsen FA, Garbini JL, Sidles JA, Pratt B, Baumgarten D, Kaiura R. Robotic assistance in orthopaedic surgery. A proof of principle using distal femoral arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;(296):178-86.
12. García-Aguilera C, Martín-Hernández C. Cirugía asistida por ordenador en la artroplastia de rodilla. 1.^a ed. Zaragoza: Estilo digital; 2017.
13. Hodgson AJ, Inkpen KB, Shekhman M, Anglin C, Tonetti J, Masri BA, et al. Computer-assisted femoral head resurfacing. *Comput Aided Surg.* 2005;10(5-6):337-43.
14. Jenny J-Y, Boeri C, Picard F, Leitner F. Reproducibility of intra-operative measurement of the mechanical axes of the lower limb during total knee replacement with a non-image-based navigation system. *Comput Aided Surg.* 2004;9(4):161-5.
15. Siston RA, Daub AC, Giori NJ, Goodman SB, Delp SL. Evaluation of methods that locate the center of the ankle for computer-assisted total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2005; 439:129-35.

16. Khadem R, Yeh CC, Sadeghi-Tehrani M, Bax MR, Johnson JA, Welch JN, et al. Comparative tracking error analysis of five different optical tracking systems. *Comput Aided Surg.* 2000;5(2):98-107.
17. Jenny J-Y, Boeri C. Computer-assisted implantation of total knee prostheses: a case-control comparative study with classical instrumentation. *Comput Aided Surg.* 2001; 6:217-20.
18. Bauwens K, Matthes G, Wich M, Gebhard F, Hanson B, Ekkernkamp A, et al. Navigated total knee replacement. A meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(2):261-9.
19. Kim Y-H, Park J-W, Kim J-S. Computer-navigated versus conventional total knee arthroplasty a prospective randomized trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(22):2017-24.
20. Allen CL, Hooper GJ, Oram BJ, Wells JE. Does computer-assisted total knee arthroplasty improve the overall component position and patient function? *Int Orthop.* 2014;38(2):251-7.
21. Van der List JP, Chawla H, Joskowicz L, Pearle AD. Current state of computer navigation and robotics in unicompartmental and total knee arthroplasty: a systematic review with meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(11):3482-95.
22. Brin YS, Nikolaou VS, Joseph L, Zukor DJ, Antoniou J. Imageless computer assisted versus conventional total knee replacement. A Bayesian meta-analysis of 23 comparative studies. *Int Orthop.* 2011;35(3):331-9.
23. Zhang G, Chen J, Chai W, Liu M, Wang Y. Comparison between computer-assisted-navigation and conventional total knee arthroplasties in patients undergoing simultaneous bilateral procedures: a randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(13):1190-6.
24. Huang T-W, Hsu W-H, Peng K-T, Hsu RW-W, Weng Y-J, Shen W-J. Total knee arthroplasty with use of computer-assisted navigation compared with conventional guiding systems in the same patient: radiographic results in Asian patients. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(13):1197-202.
25. Fu Y, Wang M, Liu Y, Fu Q. Alignment outcomes in navigated total knee arthroplasty: a metaanalysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(6):1075-82.
26. Cheng T, Zhao S, Peng X, Zhang X. Does computer-assisted surgery improve postoperative leg alignment and implant positioning following total knee arthroplasty? A meta-analysis of randomized controlled trials? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(7):1307-22.
27. Hetaimish BM, Khan MM, Simunovic N, Al-Harbi HH, Bhandari M, Zalzal PK. Meta-analysis of navigation vs conventional total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2012;27(6):1177-82.
28. Fehring TK, Valadie AL. Knee instability after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(299):157-62.
29. Han S-B, Nha K-W, Yoon J-R, Lee D-H, Chae I-J. The reliability of navigation-guided gap technique in total knee arthroplasty. *Orthopedics.* 2008;31(10 Suppl 1).
30. Jenny J-Y, Miehlke RK, Giurea A. Learning curve in navigated total knee replacement. A multi-centre study comparing experienced and beginner centres. *Knee.* 2008;15(2):80-4.

31. Smith BRK, Deakin AH, Baines J, Picard F. Computer navigated total knee arthroplasty: the learning curve. *Comput Aided Surg*. 2010;15(1-3):40-8.
32. Han S-B, Kim H-J, Kim T-K, In Y, Oh K-J, Koh I-J, et al. Computer navigation is effective in reducing blood loss but has no effect on transfusion requirement following primary total knee arthroplasty: a meta-analysis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. noviembre de 2016;24(11):3474-81.
33. Dong H, Buxton M. Early assessment of the likely cost-effectiveness of a new technology: A Markov model with probabilistic sensitivity analysis of computer-assisted total knee replacement. *Int J Technol Assess Health Care*. 2006;22(2):191-202.
34. Hinarejos P, Corrales M, Matamalas A, Bisbe E, Cáceres E. Computer-assisted surgery can reduce blood loss after total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17(4):356-60.
35. Schnurr C, Csécsei G, Eysel P, König DP. The effect of computer navigation on blood loss and transfusion rate in TKA. *Orthopedics*. 2010;33(7):474.
36. Church JS, Scadden JE, Gupta RR, Cokis C, Williams KA, Janes GC. Embolic phenomena during computer-assisted and conventional total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2007;89(4):481-5.
37. O'Connor MI, Brodersen MP, Feinglass NG, Leone BJ, Crook JE, Switzer BE. Fat emboli in total knee arthroplasty: a prospective randomized study of computer-assisted navigation vs standard surgical technique. *J Arthroplasty*. 2010;25(7):1034-40.
38. Spencer JM, Chauhan SK, Sloan K, Taylor A, Beaver RJ. Computer navigation versus conventional total knee replacement: no difference in functional results at two years. *J Bone Joint Surg Br*. 2007;89(4):477-80.
39. Ishida K, Matsumoto T, Tsumura N, Kubo S, Kitagawa A, Chin T, et al. Mid-term outcomes of computer-assisted total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19(7):1107-12.
40. Hoffart H-E, Langenstein E, Vasak N. A prospective study comparing the functional outcome of computer-assisted and conventional total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2012;94(2):194-9.
41. Martín-Hernández C, Sanz-Sainz M, Revenga-Giertych C, Hernández-Vaquero D, Fernández-Carreira JM, Albareda-Albareda J, et al. Artroplastia total de rodilla navegada versus convencional; estudio prospectivo a 3 años de seguimiento. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología [Internet]*. 2018 [citado 15 de abril de 2018]; Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.recot.2018.01.001>
42. Biasca N, Wirth S, Bungartz M. Mechanical accuracy of navigated minimally invasive total knee arthroplasty (MIS TKA). *Knee*. 2009;16(1):22-9.
43. Bonutti PM, Dethmers DA, McGrath MS, Ulrich SD, Mont MA. Navigation did not improve the precision of minimally invasive knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(11):2730-5.

44. Dutton AQ, Yeo S-J, Yang K-Y, Lo N-N, Chia K-U, Chong H-C. Computer-assisted minimally invasive total knee arthroplasty compared with standard total knee arthroplasty. A prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(1):2-9.
45. Hasegawa M, Yoshida K, Wakabayashi H, Sudo A. Minimally invasive total knee arthroplasty: comparison of jig-based technique versus computer navigation for clinical and alignment outcome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(6):904-10.
46. Jung KA, Kim SJ, Lee SC, Hwang SH, Ahn NK. Accuracy of implantation during computer-assisted minimally invasive Oxford unicompartmental knee arthroplasty: a comparison with a conventional instrumented technique. *Knee.* 2010;17(6):387-91.
47. Lim M-H, Tallay A, Bartlett J. Comparative study of the use of computer assisted navigation system for axial correction in medial unicompartmental knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009;17(4):341-6.
48. Weber P, Utzschneider S, Sadoghi P, Pietschmann MF, Ficklscherer A, Jansson V, et al. Navigation in minimally invasive unicompartmental knee arthroplasty has no advantage in comparison to a conventional minimally invasive implantation. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(2):281-8.
49. Konyves A, Willis-Owen CA, Spriggins AJ. The long-term benefit of computer-assisted surgical navigation in unicompartmental knee arthroplasty. *J Orthop Surg Res.* 2010; 5:94.
50. Whiteside LA. Selective ligament release in total knee arthroplasty of the knee in valgus. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;(367):130-40.
51. Whiteside LA, Saeki K, Mihalko WM. Functional medical ligament balancing in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;(380):45-57.
52. Serod.org: Sociedad Española de la Rodilla. [Internet]. Barcelona: SEROD; Guía de mediciones para cirugía protésica de rodilla. SEROD; [citado 11 abr 2018]. Disponible en: https://www.serod.org/pdf/2.1.2_guias_mediciones.pdf
53. Lotke PA, Ecker ML. Influence of positioning of prosthesis in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Am.* 1977;59(1):77-9.
54. Ritter MA, Faris PM, Keating EM, Meding JB. Postoperative alignment of total knee replacement. Its effect on survival. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(299):153-6.
55. Berend ME, Ritter MA, Meding JB, Faris PM, Keating EM, Redelman R, et al. Tibial component failure mechanisms in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(428):26-34.
56. Jeffery RS, Morris RW, Denham RA. Coronal alignment after total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 1991;73(5):709-14.
57. de Steiger RN, Liu Y-L, Graves SE. Computer navigation for total knee arthroplasty reduces revision rate for patients less than sixty-five years of age. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(8):635-42.
58. Deep K, Shankar S, Mahendra A. Computer assisted navigation in total knee and hip arthroplasty. *SICOT J.* 2017; 3:50.

59. Jones CW, Jerabek SA. Current Role of Computer Navigation in Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2018.
60. Rebal BA, Babatunde OM, Lee JH, Geller JA, Patrick DA, Macaulay W. Imageless computer navigation in total knee arthroplasty provides superior short term functional outcomes: a meta-analysis. *J Arthroplasty*. 2014;29(5):938-44.
61. Song EK, Agrawal PR, Kim SK, Seo HY, Seon JK. A randomized controlled clinical and radiological trial about outcomes of navigation-assisted TKA compared to conventional TKA: long-term follow-up. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2016;24(11):3381-6.
62. Verra WC, van den Boom LG, Jacobs W, Clement DJ, Wymenga AA, Nelissen RG. Retention versus sacrifice of the posterior cruciate ligament in total knee arthroplasty for treating osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2013;CD004803.