



**GRADO EN MEDICINA**  
**FACULTAD DE MEDICINA**  
**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

# **ASISTENCIA ROBÓTICA EN CIRUGÍA DE PRÓTESIS DE CADERA**

**AUTOR:** Sara de la Fuente Gómez

**TUTOR:** Aurelio Vega Castrillo

**COTUTOR:** Sergio Chávez Valladares

Curso 2024-2025





## ÍNDICE:

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ABSTRACT.....</b>	<b>4</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>8</b>
<b>6, RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
<b>7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>19</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>19</b>

## 1. RESUMEN

Como alternativa a la técnica convencional de implantación de prótesis totales de cadera, han surgido sistemas de asistencia robótica como el MAKO® (Stryker®) SmartRobotics que permiten una mayor precisión quirúrgica. Para ello, a partir de una Tomografía Computarizada (TAC) preoperatoria se genera una planificación detallada de la colocación de los componentes protésicos.

Cabe señalar que es un sistema muy novedoso. El HCUV fue el primer hospital público español en incorporar el sistema MAKO para las cirugías protésicas. [1]

En este trabajo se recogen y analizan los datos de 40 pacientes intervenidos en el HCUV, 22 de ellos operados con el sistema MAKO y 18 mediante la técnica manual.

Se comparó el sangrado intraoperatorio y los parámetros radiológicos articulares pre y postoperatorios entre ambos grupos con el objetivo de valorar si existen diferencias en la colocación final del implante; y se analizaron las discrepancias entre las mediciones realizadas por el robot respecto a aquellas calculadas manualmente.

Los resultados no evidenciaron diferencias clínicamente significativas a corto plazo, lo que concuerda con la literatura científica actual. No obstante, se considera necesario un mayor seguimiento de los pacientes para evaluar si se acaban registrando mejores resultados clínicos o menor tasa de complicaciones a largo plazo.

En conclusión, si bien la cirugía asistida por robot ofrece una planificación preoperatoria y precisión difícilmente alcanzables mediante la técnica manual, por el momento esta alternativa no ha demostrado ser clínicamente superior a corto plazo.

## 2. ABSTRACT

As an alternative to the conventional technique of total hip prostheses, robotic assistance systems such as the MAKO® (Stryker®) SmartRobotics have emerged, allowing greater surgical precision. For this purpose, a detailed planning of the placement of the prosthetic components is generated based on a preoperative computed tomography (CT) scan.

It should be noted that this is a very new system. The HCUV was the first Spanish public hospital to incorporate the MAKO system for prosthetic surgeries.[1]

In this study, data from 40 patients operated on at the HCUV were collected and analysed. Of these, 22 were operated on using the MAKO system and 18 using the manual technique.

Intraoperative bleeding and pre- and postoperative joint radiological parameters were compared between the two groups in order to assess whether there are differences in the

final implant placement; and the discrepancies between the measurements taken by the robot and those calculated manually were analysed.

The results showed no clinically significant differences in the short term, which is consistent with current scientific literature. However, further follow-up of patients is considered necessary to assess whether better clinical outcomes or lower long-term complication rates are achieved.

In conclusion, although robotic-assisted surgery offers preoperative planning and precision that are difficult to achieve with manual techniques, this alternative has not yet proven to be clinically superior in the short term.

### **3. INTRODUCCIÓN**

El incremento de la edad media de vida que está experimentando la sociedad en los últimos años se traduce en un mayor porcentaje de gente envejecida, con el consecuente aumento de las patologías que afectan a la población anciana. Entre las más importantes se encuentran las enfermedades degenerativas de articulaciones y las fracturas de cadera, siendo la prótesis total de cadera (PTC) la alternativa terapéutica más utilizada.

Desde principios del siglo XIX [2], cuando se utilizó por primera vez una prótesis de cadera, se han ido logrando nuevos avances en busca de una mayor funcionalidad biomecánica, o de materiales que dotasen a la prótesis de una mayor resistencia al paso del tiempo y provocasen un menor rechazo por parte del paciente [3].

La PTC se compone principalmente de cuatro partes fundamentales, que reemplazan las estructuras anatómicas dañadas de la cadera para restaurar su función [4]:

- Vástago femoral: se inserta en el canal del fémur y ancla la prótesis al fémur.
- Cabeza femoral: se coloca sobre el vástago, reemplaza la cabeza natural del fémur y permite el movimiento.
- Copa acetabular: se coloca en el acetábulo, creando una cavidad para la cabeza femoral.
- Inserto acetabular: se coloca dentro de la copa acetabular y proporciona una superficie de contacto entre la cabeza femoral y la copa.

Cada componente trabaja en conjunto para restaurar la función de la cadera, permitiendo una buena estabilidad y rango de movimiento, al tiempo que minimiza el desgaste y el riesgo de complicaciones [5].

Las PTC se pueden clasificar en dos tipos principales: cementadas y no cementadas, cuya diferencia está en cómo se fijan al hueso.

En las cementadas se utiliza cemento óseo (polimetilmetacrilato) para fijar el vástago femoral al hueso y, en algunos casos, también la copa acetabular. En las no cementadas la fijación depende de la integración del hueso con la superficie de la prótesis, que suele tener un recubrimiento de hidroxiapatita o titanio poroso, que facilita el crecimiento del hueso alrededor del implante (osteointegración).

La elección de un tipo de prótesis u otra depende de factores como la calidad ósea del paciente, su edad y nivel de actividad [6].

La coxartrosis es una de las enfermedades más prevalentes en la población envejecida española, llegando a ser de hasta un 10% el porcentaje de personas mayores de 65 años que sufren de artrosis de cadera dolorosa [4]. Se trata de la principal indicación de prótesis de cadera, siendo la tasa en España en 2005 de 4,3 PTCs por 10.000 habitantes [7].

La artritis inflamatoria, la osteonecrosis o las fracturas de cuello de fémur desplazadas son otras de las indicaciones de PTC más importantes [8].

Por lo tanto, de aquí a dentro de 6 años, se estima que se realizarán más de 600.000 PTCs en Estados Unidos anualmente [9].

La PTC no está exenta de complicaciones ya que como en toda intervención quirúrgica, hay riesgo de flebitis, infección de herida quirúrgica, trombosis, embolismos, reacción adversa medicamentosa, fiebre de origen no aclarado, hemorragia post-operatoria...[10]

A estas, habría que añadir las complicaciones particulares de la intervención protésica: siendo las principales: el aflojamiento, luxación, inestabilidad o desgaste de la prótesis, rotura del material y fractura periprotésica [11].

Una de las complicaciones más problemáticas es la luxación, cuya prevalencia está entre el 3 y el 7% [12]. Más de un tercio de las luxaciones necesitarán ser reintervenidas quirúrgicamente para lograr su reducción y estabilidad definitiva.

Algunos de los factores que influyen en la luxación postoperatoria de cadera son [13]:

- La realización de **movimiento** no permitido de cadera consistente en una flexión profunda con rotación interna y aducción de la cadera.
- El **desgaste** o la movilización de su **posición** de los componentes protésicos.
- La **hiperlaxitud** de la articulación por insuficiencia muscular o por falta de tensión de los tejidos blandos, lo que podría conllevar a una mayor movilidad del fémur.

- El mal **posicionamiento** de los componentes protésicos de forma que causen un pinzamiento primario o que no haya suficiente contacto entre las partes articuladoras, lo cual daría lugar a una inestabilidad.
- El contacto entre el fémur y la pelvis óseos dando lugar a un **impacto secundario**.

Por lo tanto, la valoración intraoperatoria de la correcta colocación del implante protésico es imprescindible para asegurar tanto la alineación adecuada como la funcionalidad de la articulación implantada, además de maximizar la durabilidad del implante y optimizar los resultados postoperatorios. Para ello, se debe evaluar [13] [15]:

1. La **posición** de los componentes: la movilidad pélvica y la rigidez lumbar es distinta en cada paciente y es importante que el componente acetabular sea colocado con una inclinación y anteversión adecuadas en función de estas características espinopélvicas. Además, el componente femoral debe ser colocado con una correcta versión, profundidad y orientación en el canal femoral.  
Una mala orientación de los componentes puede derivar en complicaciones como impingement, luxación o desgaste precoz del implante.
2. La **estabilidad articular**, mediante pruebas de rango de movimiento y maniobras de luxación.
3. El **balance** de los tejidos blandos y la **tensión** muscular.

Para llevar a cabo estas mediciones intraoperatoriamente se pueden utilizar técnicas convencionales y puntos de referencia anatómicos mediante la evaluación visual, o sistemas de navegación y asistencia robótica como el sistema MAKO.

Este método de asistencia por brazo robótico permite ajustar y verificar la inclinación y anteversión acetabular en tiempo real si fuese necesario, además de aportar imágenes 3D de alta resolución utilizando una TAC antes de la cirugía, lo cual permite una planificación preoperatoria más detallada [16].

Aún es necesario profundizar acerca de en qué magnitud afecta a los resultados el realizar la intervención de PTC asistida por brazo robótico (RA-THA) en comparativa con la PTC manual (mTHA), ya que no solo es importante la orientación y alineación de la prótesis, sino otros factores como su desplazamiento respecto a su posición inicial, la influencia real del balance espinopélvico o la diferencia de longitud de los miembros inferiores, en cuyos análisis de resultados aún sería preciso un análisis más profundo [17] [18].

Con este trabajo se pretende comparar la capacidad de la correcta colocación del cotilo, según referencias visuales con la colocación mediante la asistencia robótica del sistema MAKO.

Además, se analizará el posible desarrollo de complicaciones postoperatorias mediante la medición y el análisis de:

- a) Las características radiográficas del paciente como la posible existencia de deformidad o rigidez en la columna; y su categorización según el balance espinopélvico.
- b) El posicionamiento postoperatorio del cotilo y si los ángulos de implantación están dentro del rango recomendado por los últimos artículos publicados.
- c) La comprobación de los resultados que nos da el sistema MAKO al finalizar la cirugía en comparación con lo que se puede medir en la radiografía (RX) postoperatoria.

#### **4. OBJETIVOS**

El objetivo principal de este estudio es analizar los resultados radiográficos obtenidos en pacientes sometidos a PTC asistida por robot, comparando la precisión en la colocación del componente acetabular mediante referencias visuales convencionales frente al uso del sistema robótico MAKO. Asimismo, se intenta verificar si los datos medidos intraoperatoriamente por el robot acerca de la disimetría y la inclinación del cotilo resultantes, se corresponden con aquellos medidos en la radiografía postoperatoria manualmente por el cirujano.

Entre los objetivos secundarios del estudio se incluyen el análisis de la pérdida sanguínea durante la intervención quirúrgica, así como del desarrollo potencial de complicaciones postoperatorias, como luxaciones, fracturas o limitación funcional como consecuencia de una excesiva disimetría.

#### **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se trata de un estudio prospectivo observacional descriptivo de casos consecutivos donde se analizan los datos de pacientes sometidos a intervención de cirugía de prótesis total de cadera en el servicio de Traumatología del Hospital Clínico Universitario de Valladolid (HCUV) entre abril del 2023 y marzo 2024. Para ello se ha llevado a cabo la recopilación de los datos de 40 pacientes: 22 intervenidos mediante el sistema robótico y 18 por medio de la técnica manual.

La muestra de pacientes que compone este proyecto de investigación está extraída de pacientes intervenidos por parte del servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del HCUV, tanto los que han sido operados mediante sistema robótico Stryker MAKO® como los intervenidos mediante la técnica manual.



Los criterios de inclusión que se han tenido en cuenta para la realización de este estudio son:

- Indicación de intervención para la inserción de una prótesis total de cadera, en pacientes de cualquier sexo con el diagnóstico de coxartrosis.
- Obtención del consentimiento informado por parte del paciente para someterse a la prótesis total de cadera.
- Pertenencia al Área de Salud Valladolid Este (área asignada al Hospital Clínico Universitario de Valladolid).
- Ser mayor de 18 años.

Los criterios de exclusión incluyen:

- Pacientes con previa artroplastia de cadera en la misma extremidad.
- Existencia de secuelas por cirugías previas.
- Ausencia de consentimiento informado.

Las cirugías fueron llevadas a cabo por cirujanos pertenecientes a la Unidad de Miembro inferior del HCUV, expertos en artroplastia de cadera.

En ambos casos la PTC se realizó bajo anestesia raquídea y en condiciones de esterilidad.

Para el acceso a la articulación coxofemoral, se procedió a utilizar un abordaje posterolateral. Una vez expuesta la articulación tras ir disecando por planos, se procede a la resección de la cabeza femoral con una sierra oscilante [19].

En cuanto a la técnica manual, el acetábulo se fresa de forma secuencial con instrumental manual hasta alcanzar el tamaño y la orientación deseadas; y a continuación, se implanta una cúpula acetabular, generalmente no cementada. [19]

El canal femoral se prepara utilizando brocas o raspadores manuales progresivos, adaptando el tamaño según la planificación preoperatoria. Se implanta un vástago femoral, habitualmente no cementado y ajustado mediante impactación, aunque también se podría optar por cementarlo en casos seleccionados. Posteriormente, se selecciona e implanta la cabeza femoral sobre el vástago [20]. Se procede a la reducción de la prótesis y se comprueba la estabilidad, la longitud del miembro y el rango de movilidad. Si todo ello es adecuado, se extraen los componentes protésicos de prueba y se insertan los definitivos. Finalmente, se lleva a cabo el cierre quirúrgico por planos anatómicos [19].

La PTC con asistencia robótica mediante el sistema MAKO® (Stryker®) se basa en una planificación preoperatoria tridimensional personalizada en cada paciente. Para ello, se realiza una TAC de pelvis y fémur proximal, cuyas imágenes se integran en el software MAKOplasty®. Este, permite diseñar con precisión la posición, tamaño y orientación de los

componentes protésicos acetabular y femoral, ajustando parámetros como anteversión, inclinación y centro de rotación [16] [21].

Una vez expuesta la articulación, se colocan clavijas de referencia en la pelvis para permitir el registro tridimensional de la anatomía mediante sensores ópticos. El sistema correlaciona los puntos anatómicos reales con el modelo preoperatorio obtenido con la TAC previa, ajustando en tiempo real la planificación quirúrgica [22].

En este caso, el fresado del acetábulo se realiza mediante el brazo robótico, el cual limita el área de fresado a los márgenes definidos previamente, aunque es dirigido por el cirujano, mejorando la precisión en orientación y profundidad. La cúpula acetabular se implanta asistida por el sistema, lo cual garantiza una colocación conforme al plan virtual [22].

Por último, el componente femoral se inserta de forma convencional, aunque siendo guiado por los parámetros del software. Una vez colocados ambos componentes, se comprueba la biomecánica de la prótesis, se sustituyen por los componentes protésicos definitivos y se realiza el cierre quirúrgico de forma convencional [22].

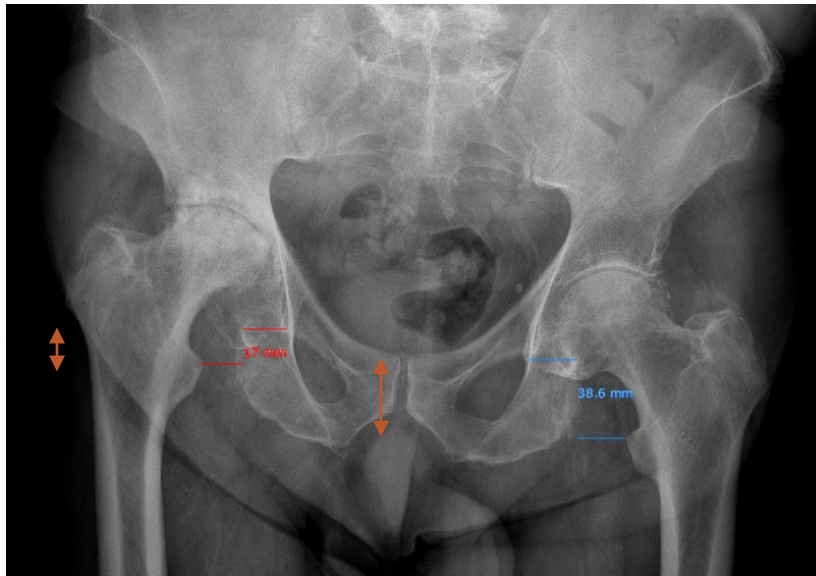
Procedimiento:

Para el estudio se utilizó una hoja de recolección, procesamiento y análisis de datos con el software estadístico SPSS IBM versión 29.0.2.0. Se recopilaban los siguientes datos de los pacientes: número de historia clínica, nombre, género, edad, teléfono, lateralidad, complicaciones postoperatorias y si fueron intervenidos mediante el sistema robótico MAKO o no.

También se recogieron los datos de Hemoglobina (Hb) pre y postoperatoria y Hematocrito (HTO) pre y postoperatorio para cuantificar la pérdida sanguínea que tuvo cada paciente durante la intervención.

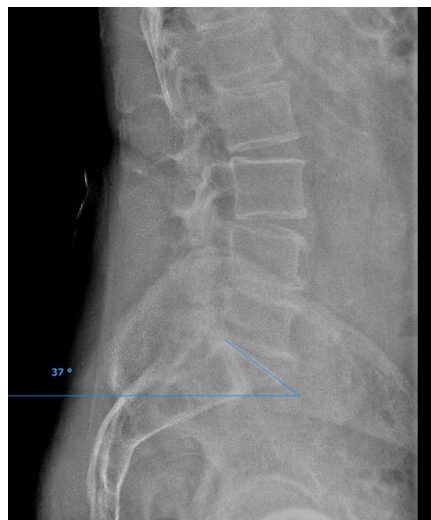
Además, se fueron registrando los datos biomecánicos espinopélvicos de los pacientes, incluyendo: la disimetría pre y post-operatorias, la pendiente sacra sentado y de pie, la inclinación pélvica sentado y de pie, la báscula pélvica sentado y de pie, el plano pélvico anterior medido en una RX lateral de pie, la inclinación del cotilo medida en la RX y la que nos mide el robot MAKO y la disimetría según el robot MAKO. Para la medición de estos parámetros se utilizaron las radiografías pre y postoperatorias de casa paciente.

La disimetría se mide en una RX anteroposterior (AP) de pelvis en carga con los miembros extendidos y la pelvis alineada. Se traza una línea horizontal que pase por el punto más inferior de ambas lágrimas pélvicas y una línea perpendicular desde esa línea hasta el punto más prominente de cada trocánter menor. La diferencia entre las dos líneas perpendiculares trazadas es la disimetría [23].



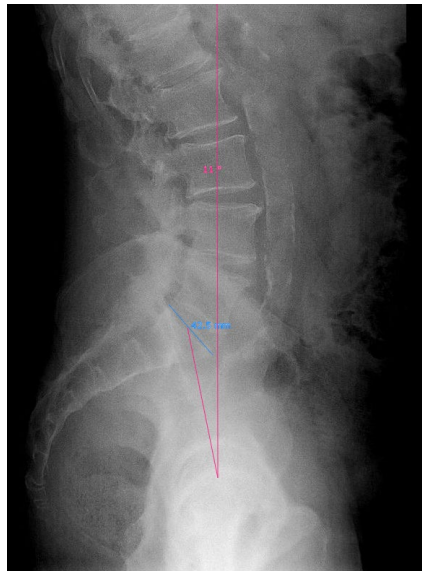
*Figura 1: Medición de la disimetría*

La pendiente sacra (sacral slope) es el ángulo entre el platillo superior de S1 y una línea horizontal y se mide en radiografías laterales de pelvis o columna lumbosacra, tanto de pie como sentado [24].



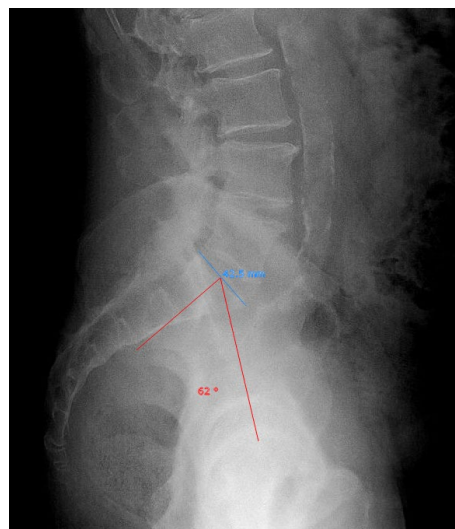
*Figura 2: Medición de la pendiente sacra*

La inclinación pélvica (pelvic tilt) es el ángulo entre la línea que une el centro de la cabeza femoral con el punto medio del platillo de S1 y una línea vertical desde el centro de la cabeza femoral. También se mide en radiografías laterales de pelvis [24].



*Figura 3: Medición de inclinación pélvica*

La báscula pélvica (pelvic incidence) se obtiene midiendo el ángulo que hay entre la línea que une el centro de la cabeza femoral con el centro del platillo de S1 y una línea perpendicular al platillo de S1 [24].



*Figura 4: Medición de báscula pélvica*

El plano pélvico anterior (APP) se evalúa en una RX lateral de pelvis en bipedestación. Se obtiene midiendo el ángulo entre la línea que une ambas espinas ilíacas anterosuperiores con respecto a la vertical (línea plomada) [17] .

Este ángulo refleja la versión sagital de la pelvis, clasificándose en:

- Neutro: si el APP es casi vertical (ángulo  $<13^{\circ}$ ).
- Anteversión: si se inclina  $>13^{\circ}$  hacia anterior.
- Retroversión: si se inclina  $>13^{\circ}$  hacia posterior.

La inclinación del cotilo se determina en una RX AP de pelvis, midiendo el ángulo entre una línea horizontal y el borde del componente acetabular implantado.

Por último, también se registró el grupo en el que se incluye cada paciente según la Clasificación de Vigdorchik (Tabla 2.1) [17].

GRUPO	CLASIFICACIÓN	PATOLOGÍA
1A	Alineación espinal y movilidad normales (>10° de diferencia en la pendiente sacra de sentado a de pie)	Anatomía y movilidad normales
1B	Alineamiento espinal normal y columna rígida (<10° de diferencia en la pendiente sacra de sentado a de pie)	Columna rígida necesita mayor inclinación y anteversión
2A	Espalda plana (ausencia de lordosis lumbar en la RX lateral) y movilidad espinal normal (>10° de diferencia en la pendiente sacra de sentado a de pie)	Inclinación pélvica anterior: se resolverá posoperatoriamente Inclinación pélvica posterior: deformidad espinal causará mayor anteversión funcional del componente acetabular
2B	Espalda plana y columna rígida (<10° de diferencia en la pendiente sacra de sentado a de pie)	Deformidad y rigidez espinal causarán mayor anteversión funcional del componente acetabular

Tabla 5.1: Clasificación de Vigdorchik

Este sistema de clasificación permite agrupar a los pacientes en función de la forma y la movilidad de la columna lumbo-sacra, permitiendo hacer el ajuste más apropiado en cada caso a la hora de colocar y seleccionar los componentes protésicos, lo que se traduce en la reducción de las tasas de luxación y la inestabilidad postoperatoria de la cadera.

Los datos obtenidos en este estudio se recogieron entre octubre de 2024 y mayo de 2025. Se compararon los datos de las dos muestras cuantitativas (grupo “MAKO” y grupo “NO MAKO”) por medio de la prueba paramétrica T de Student. Para conocer la relación entre las variables se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson ( $r^2$ ), considerando

estadísticamente significativa una  $P < 0.05$ . En el análisis de las complicaciones se utilizó el test exacto de Fisher, dado el reducido tamaño muestral y la presencia de valores esperados inferiores a 5.

La medición de los parámetros biomecánicos de cada paciente durante la recogida de datos se hizo por medio de las herramientas del programa Venus Explorer de la plataforma Jimena.

Para las citaciones de la bibliografía se utilizó el gestor de referencias “Zotero” con el estilo Vancouver.

## 6. RESULTADOS

El grupo de estudio está formado por 40 participantes (22 operados con el robot MAKO y 18 operados sin el robot) con una media de edad de 72 años ( $\pm 10,5$ ), (72,4 años de media en los NO MAKO y 71,7 en los MAKO), siendo un 62,5% de ellos, hombres (56% de los NO MAKO y 68% de los MAKO) y un 37,5% mujeres (44% de los NO MAKO y 32% de los MAKO).

De los 40 participantes en el estudio, 18 fueron operados de la cadera derecha y 22 de la izquierda. Dentro de los 22 pacientes intervenidos por medio del robot MAKO se operó a 11 de la cadera izquierda (50%) y a 11 de la derecha, y de los 18 operados mediante la técnica convencional, 7 fueron del lado derecho (38,9%) y 11 del izquierdo (61,1%).

No hubo complicaciones postoperatorias de muy elevada gravedad, si bien, hubo un 5% que tuvo coxalgia o meralgia parestésica, un 2,5% que presentó una retención aguda de orina y otro 2,5% con tromboflebitis en extremidades inferiores. Todas estas complicaciones se dieron en pacientes pertenecientes al grupo operado con MAKO, no habiéndose dado ningún evento adverso en los del grupo NO MAKO. Es decir, se observó que 4 de los 22 pacientes (18,2%) del grupo MAKO tuvieron complicaciones, mientras que ninguno de los 18 individuos (0%) operados con la técnica manual experimentó complicaciones. Sin embargo, el análisis de estos datos indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, ya que el p-valor del test exacto de Fisher es  $> 0,05$ , lo cual sugiere que con los datos a partir de los cuales hemos hecho nuestro estudio, no se puede afirmar que exista asociación entre el tipo de técnica quirúrgica y la aparición de complicaciones.

De acuerdo con la clasificación de Vigdorich explicada previamente, el 70% pertenecen a la categoría 1A, el 20% a la categoría 1B, el 7,5% a la 2A y solamente un 2,5% a la 2B.

En cuanto a la media de la reducción de hemoglobina, en los pacientes no operados con MAKO fue de 3,55 y en los operados con MAKO de 3,47, existiendo una diferencia no significativa entre ambos grupos ( $p > 0,05$ ).

Por otro lado, la media de la reducción del hematocrito fue mayor en los operados con MAKO, siendo esta 11,26, respecto a la pérdida de 10,78 que tuvieron los pacientes del grupo NO MAKO ( $p>0,05$ ), no siendo la diferencia estadísticamente significativa.

Comparando los valores de la pendiente sacra sentados, el grupo de NO MAKO tenía una media de 16,4, respecto a la media de 21,3 del grupo MAKO, no siendo esta una diferencia significativa ( $p>0,05$ ).

La inclinación pélvica medida en sedestación era algo menor en el grupo NO MAKO, 15,8 frente a 18,3 del grupo MAKO, sin embargo, estas diferencias tampoco son estadísticamente significativas ( $p>0,05$ ).

En cuanto a la báscula pélvica sentados, también era mayor en los NO MAKO, 44,2 frente a 54,3, pero en este caso sí podemos considerar que hay una diferencia significativa ya que el p-valor es  $<0,05$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula que asume igualdad de medias entre ambos grupos.

Respecto a la correcta inclinación del cotilo, la media en este grupo es de  $42,65^\circ (\pm 4,45)$ , frente a  $40,72^\circ (\pm 5,17)$  en el grupo NO MAKO, no siendo esta, una diferencia significativa.

En cuanto a la disimetría, al comparar ambos grupos de estudio, observamos que la media de los pacientes del grupo MAKO es 0,22 cm menor que en el grupo NO MAKO, sin significación estadística (p-valor de 0,928).

Al estudiar si hay diferencias entre los datos que refleja el robot MAKO respecto a los valores medidos en la RX, comprobamos que la inclinación del cotilo según el robot MAKO es una media de 0,28 mayor que la que se mide en la RX; y que la disimetría postoperatoria es una media de 0,73 mayor en las medidas proporcionadas por el MAKO respecto a las medidas en la RX ( $p > 0,05$  en ambos casos).

Dependiendo de la movilidad espino pélvica de cada paciente, medida en función de la diferencia entre la pendiente sacra de pie y sentados, la inclinación del cotilo debería ajustarse a unos valores, que varían en función del tipo de paciente. Según un estudio llevado a cabo por Stefl et al. (2017) [25], en el que se correlacionó la posición del componente acetabular con la movilidad espinopélvica obteniendo las directrices y medidas para la realización de una artroplastia total de cadera óptima y segura, los valores ideales para la inclinación del cotilo son los que se reflejan en la tabla 6.1.

Movilidad espinopélvica	Rigidez		Normal	Hiper-móvil
	Cifosis, inclinación pélvica >40°	Inclinación pélvica <40°		
Inclinación del cotilo	Normal o aumentada (40°-45°)	Aumentada (45°)	Normal (40°)	Reducida (35°- 40°)

Tabla 6.1: Valores para la inclinación del cotilo

Al analizar si en nuestros pacientes la inclinación del cotilo se ajusta a esos valores, observamos que sí que cumplen la condición un 36,36% de los operados con MAKO, frente a un 33,33% de los no operados con MAKO, no siendo significativa la diferencia ( $p>0,05$ ).

## 7. DISCUSIÓN

El desarrollo tecnológico ha permitido a la mayoría de las especialidades quirúrgicas incorporar innovadores sistemas de navegación asistida por computadora u otros sistemas de asistencia robótica, como es el robot MAKO en cuestión. Estos avances tecnológicos permiten lograr una precisión y exactitud milimétrica difícilmente alcanzadas por el ojo y la mano del cirujano. Sin embargo, mayor precisión no siempre se traduce en mejores resultados finales, sino que ha de evaluarse el resultado global de la intervención y las posibles complicaciones inherentes a dicha tecnología.

En primer lugar, para realizar la intervención con asistencia robótica MAKO es preciso obtener una TAC previa a la intervención, lo cual aporta información muy precisa sobre la articulación [26]. Esto, conlleva la desventaja de someter a una mayor radiación al paciente que con las RX simples que se precisan si se lleva a cabo la técnica manual [27] aunque, por otro lado, aporta datos de otra manera no disponibles para la planificación preoperatoria.

Lograr alcanzar la máxima precisión en la colocación y angulación de los componentes protésicos, especialmente la inclinación del cotilo, es fundamental para evitar las complicaciones tanto a corto como a largo plazo, como puede ser la dislocación o la disimetría postoperatoria [28] [29].

Existen numerosos estudios que evalúan el aporte de la asistencia robótica a la intervención. En un metanálisis llevado a cabo por Llombart-Blanco et al. (2024), se concluye que, pese a que en las radiografías sí que se objetivaron mejoras en la colocación de la prótesis con la técnica robótica, no encontraron diferencias significativas en cuanto a las complicaciones ni durante la intervención ni en el periodo posterior [28] [30] [31].



Bensa et al. (2024), también concluyen que la mejoría en la precisión a la hora de restaurar la anatomía de la cadera no se traduce en una mejoría clínica significativa y, sin embargo, la cirugía robótica precisa un mayor tiempo operatorio [29].

En el presente estudio no se encontraron diferencias clínicamente significativas en los resultados funcionales a corto plazo entre el grupo de 22 pacientes operados con el sistema robótico MAKO y el grupo de 18 pacientes intervenidos con técnica manual, aunque sí se notificaron complicaciones postoperatorias en 4 de los pacientes, todos ellos pertenecientes al grupo operado con la técnica robótica. Sin embargo, simplemente 2 de estos casos, se podrían relacionar con la técnica operatoria, ya que una de las complicaciones fue la retención urinaria, la cual es debida probablemente a la anestesia raquídea o epidural a la que fueron sometidos para la intervención [32][33], y otra fue la Trombosis Venosa Profunda (TVP) la cual es una complicación asociada a las PTCs, independientemente de la técnica utilizada [34,35].

La otra complicación que surgió fue la meralgia parestésica, que se dio en dos de los pacientes. Este efecto adverso se suele deber al atrapamiento o daño del nervio femorocutáneo anterior, que nace de las raíces L2 y L3 del plexo lumbar, discurre por la cara lateral del iliopsoas, pasando por debajo del ligamento inguinal y medialmente a la espina iliaca anterosuperior [36]. Por lo tanto, si durante la intervención asistida por el robot MAKO, al poner los pines de referencia del sistema, se colocan muy próximos al trayecto del nervio o el paciente tiene algún tipo de alteración anatómica, se podría causar una lesión en el mismo, dando lugar a la meralgia parestésica postoperatoria.

Por lo tanto, 2 de los 22 (9%) pacientes sometidos a la intervención por medio de la asistencia robótica MAKO, sufrieron complicaciones que se podrían achacar a la utilización de la técnica robótica en lugar de la manual.

En las manos de un cirujano con amplia experiencia, la técnica manual permite realizar ajustes en función de los hallazgos intraoperatorios, las particularidades anatómicas y el balance de partes blandas. Por su parte, y aunque la cirugía asistida por robot garantiza una colocación muy precisa de los componentes protésicos gracias a la planificación digital y la guía intraoperatoria, esta precisión podría no traducirse en una mejora sustancial en cuanto a los resultados funcionales y la prevención de complicaciones se refiere.

Además, hay que tener en cuenta la curva de aprendizaje del sistema MAKO. Los estudios sugieren que se necesitan entre 12 y 35 intervenciones para alcanzar un dominio completo de la técnica[22] [37]. Durante esta fase inicial, es posible que no se obtengan todos los beneficios que ofrece el sistema, lo que podría influir en los resultados obtenidos en este trabajo, puesto que se trata de datos de los primeros pacientes sometidos a artroplastia MAKO.

El tiempo quirúrgico no fue evaluado en este trabajo, aunque la literatura indica que suele ser mayor al principio con el uso del robot, pero tiende a disminuir con la experiencia [22].

En cuanto al sangrado perioperatorio, Annapareddy et al., concluyeron que la PTC realizada con asistencia robótica lograba reducir la pérdida sanguínea durante la intervención [38], sin embargo, otros estudios no lo objetivan como una diferencia significativa, por lo que, de momento esta no se considera una de las claras ventajas que aporta la intervención con asistencia robótica.

En nuestro estudio tampoco se objetivó una diferencia significativa en la pérdida sanguínea entre ambos grupos. Esto se podría explicar por el hecho de que la cirugía con asistencia robótica sigue precisando del mismo abordaje abierto, exactamente igual que la técnica convencional, no es que per sé, permita hacer una cirugía mínimamente invasiva. [39] Por lo tanto, no tendría por qué esperarse diferencias sustanciales en cuanto al sangrado intraoperatorio.

Respecto a los costes, se estima que el robot MAKO cuesta entorno a los 900.000 euros simplemente su adquisición [27], a lo que luego hay que añadir los costes de mantenimiento y formación del personal en su manejo, así como el coste extra que supone el procesamiento y planificación preoperatoria de cada intervención frente a la implantación de la prótesis mediante de la técnica manual.

Según los resultados obtenidos en este estudio, no se han encontrado diferencias clínicamente significativas a corto plazo entre la cirugía manual y la asistida por el robot MAKO, pero sabiendo que el robot convierte la colocación de los implantes en algo extremadamente reproducible y preciso, puede que la verdadera incógnita sea más el cómo orientar los implantes o adaptar el propio diseño de estos, que el aumento desmedido en la precisión. Así, en nuestro estudio, sólo el 36% operados con MAKO tienen su implante colocado según las recomendaciones de Steffl, aunque según los datos del propio robot en cuanto a balance espinopélvico e impigement, se trate de la mejor posición.

Pese a que nuestro estudio se ve limitado por el tamaño de la muestra y el corto periodo de seguimiento, se observó que no hay diferencias clínicamente significativas a corto plazo entre la técnica manual y la cirugía asistida por el sistema robótico MAKO en PTC.

Dado que la implantación del sistema robótico MAKO es relativamente reciente, los estudios y metaanálisis publicados hasta la fecha que comparan la técnica convencional con la asistida por robot aún no disponen de datos suficientes sobre los resultados clínicos y las complicaciones a largo plazo. Por tanto, resulta imprescindible prolongar el seguimiento de las cohortes actuales para poder valorar con mayor precisión su efectividad y seguridad a largo plazo[28] [29] [30].

Con estudios de seguimiento prolongado, se podrá valorar si los beneficios potenciales del robot se traducen en una menor tasa de complicaciones o revisiones, lo que podría modificar su perfil de coste-efectividad en el futuro.

## 8. CONCLUSIONES

La precisión que se alcanza con la utilización del sistema de asistencia robótica MAKO, tanto en la planificación como en la colocación de los componentes protésicos no es clínicamente superior a la alcanzada mediante la técnica quirúrgica manual, realizada con la toma de referencias visuales convencionales.

En cuanto a las mediciones que realiza intraoperatoriamente el sistema MAKO respecto a la disimetría y la inclinación del cotilo tras colocar la prótesis, se ha comprobado que se corresponden con las mediciones que realiza el cirujano en la RX postoperatoria de forma manual.

La pérdida sanguínea a causa de la operación protésica ha demostrado no ser estadísticamente significativa entre los pacientes sometidos a la intervención por medio de la asistencia robótica y aquellos intervenidos mediante la técnica convencional.

Por último, en cuanto al resto de complicaciones postoperatorias, si bien la tasa de complicaciones objetivadas en nuestro estudio es mayor en el grupo de pacientes operados por medio del sistema MAKO, nuestros datos no nos permiten afirmar que exista una diferencia estadísticamente significativa entre ambas técnicas quirúrgica en cuanto al desarrollo de complicaciones a corto plazo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Valladolid M. El Clínico consolida la cirugía con robot en rodilla y cadera con más de mil prótesis implantadas [Internet]. Colegio de Médicos de Valladolid2025 [citado 2025 abr 22];Available from: <https://medicosva.es/el-clinico-consolida-la-cirugia-con-robot-en-rodilla-y-cadera-con-mas-de-mil-protesis-implantadas/>
2. Mercado J de J<sup>1</sup> G, Serratos B<sup>1</sup> R. Corta reseña de la historia de la artroplastia de cadera. Ortho-tips 2021;17:112-20.
3. Álvarez E, Guerra E. Historia de la artroplastia total de cadera. Revista Colombiana de Materiales 2021;3-13.
4. Arnal J. Prótesis de Cadera - Juan Arnal: Traumatólogo en Madrid [Internet]. 2018 [citado 2024 oct 9];Available from: <https://traumatologomadrid.es/protesis-de-cadera/>
5. Fontalis A, Epinette JA, Thaler M, Zagra L, Khanduja V, Haddad FS. Advances and innovations in total hip arthroplasty. SICOT-J 2021;7:26.

6. Raja BS, Gowda AK, Singh S, Ansari S, Kalia RB, Paul S. Comparison of functional outcomes and complications of cemented vs uncemented total hip arthroplasty in the elderly neck of femur fracture patients: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma* 2022;29:101876.
7. Allepuz A, Serra-Sutton V, Espallargues M, Sarria A. Artroplastias de cadera y rodilla en el Sistema Nacional de Salud. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* 2009;53:290-9.
8. Marcelo Somarriva L. Cuándo indicar una prótesis total de cadera. *Rev Med Clin Condes* 2014;25:765-7.
9. Chen X, Xiong J, Wang P, Zhu S, Qi W, Peng H, et al. Robotic-assisted compared with conventional total hip arthroplasty: systematic review and meta-analysis. *Postgraduate Medical Journal* 2018;94:335-41.
10. Rebasa P, Mora L, Vallverdú H, Luna A, Montmany S, Romaguera A, et al. Efectos adversos en cirugía general. Análisis prospectivo de 13.950 pacientes consecutivos. *Cir Esp* 2011;89:599-605.
11. Hoyos-Velasco LA, Palacio JC, Stangl WP, Chacón-Castillo CL, Palacio-Aragón V, Pulgarín JP. Factores de riesgo para complicaciones en artroplastia total de cadera. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología* [Internet] 2024 [citado 2024 oct 9];Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S188844152400095X>
12. Parra Grande FJ, Vaquero Martín J. [Early failure of restrained acetabuli in relapsing dislocation of total hip prostheses]. *Acta Ortop Mex* 2009;23:217-22.
13. Dargel J, Oppermann J, Brüggemann GP, Eysel P. Dislocation Following Total Hip Replacement. *Deutsches Ärzteblatt International* 2014;111:884.
14. Widmer KH, Zurfluh B. Compliant positioning of total hip components for optimal range of motion. *J Orthop Res* 2004;22:815-21.
15. (1) Imaging and Navigation Measurement of Acetabular Component Position in THA | Branislav Jaramaz and Lawrence Dorr - Academia.edu [Internet]. [citado 2024 nov 12];Available from: [https://www.academia.edu/21772112/Imaging\\_and\\_Navigation\\_Measurement\\_of\\_Acetabular\\_Component\\_Position\\_in\\_THA?auto=download&auto\\_download\\_source=social-news](https://www.academia.edu/21772112/Imaging_and_Navigation_Measurement_of_Acetabular_Component_Position_in_THA?auto=download&auto_download_source=social-news)
16. Tarwala R, Dorr LD. Robotic assisted total hip arthroplasty using the MAKO platform. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine* 2011;4:151.
17. Pagan CA, Karasavvidis T, Vigdorchik JM, DeCook CA. Spinopelvic Motion: A Simplified Approach to a Complex Subject. *Hip Pelvis* 2024;36:77-86.
18. Emara AK, Samuel LT, Acuña AJ, Kuo A, Khlopas A, Kamath AF. Robotic-arm assisted versus manual total hip arthroplasty: Systematic review and meta-analysis of radiographic accuracy. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery* 2021;17:e2332.
19. Varacallo MA, Luo TD, Johanson NA. Total Hip Arthroplasty Techniques [Internet]. En: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citado 2025 abr 6]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507864/>
20. Petis S, Howard JL, Lanting BL, Vasarhelyi EM. Surgical approach in primary total hip arthroplasty: anatomy, technique and clinical outcomes. *Can J Surg* 2015;58:128-39.
21. Sicat CS, Buchalter DB, Luthringer TA, Schwarzkopf R, Vigdorchik JM. Intraoperative Technology Use Improves Accuracy of Functional Safe Zone Targeting in Total Hip Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty* 2022;37:S540-5.
22. Bullock EKC, Brown MJ, Clark G, Plant JGA, Blakeney WG. Robotics in Total Hip Arthroplasty: Current Concepts. *J Clin Med* 2022;11:6674.

23. Sabharwal S, Kumar A. Methods for Assessing Leg Length Discrepancy. *Clinical Orthopaedics and Related Research*® 2008;466:2910.
24. Guiroy A, Gagliardi M, Sícoli A, Masanés NG, Ciancio AM, Jalón P, et al. Parámetros sagitales espino-pélvicos en una población asintomática Argentina. *Surg Neurol Int* 2018;9:S36-42.
25. Stefl M, Lundergan W, Heckmann N, McKnight B, Ike H, Murgai R, et al. Spinopelvic mobility and acetabular component position for total hip arthroplasty. *Bone Joint J* 2017;99-B:37-45.
26. Zhang X, Shen X, Zhang R, Chen M, Ma R, Zhang Z, et al. Radiographic evaluation of robot-assisted versus manual total hip arthroplasty: a multicenter randomized controlled trial. *Journal of Orthopaedics and Traumatology* 2024;25:33.
27. Walgrave S, Oussedik S. Comparative assessment of current robotic-assisted systems in primary total knee arthroplasty. *Bone Jt Open* 2022;4:13-8.
28. Llombart-Blanco R, Mariscal G, Barrios C, Vera P, Llombart-Ais R. MAKO robot-assisted total hip arthroplasty: a comprehensive meta-analysis of efficacy and safety outcomes. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 2024;19:698.
29. Bensa A, Pagliuzzi G, Miele A, Schiavon G, Cuzzolin M, Filardo G. Robotic-Assisted Total Hip Arthroplasty Provides Greater Implant Placement Accuracy and Lower Complication Rates, but Not Superior Clinical Results Compared to the Conventional Manual Approach: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Arthroplasty* [Internet] 2024 [citado 2025 abr 20];0. Available from: [https://www.arthroplastyjournal.org/article/S0883-5403%2824%2901316-0/fulltext?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.arthroplastyjournal.org/article/S0883-5403%2824%2901316-0/fulltext?utm_source=chatgpt.com)
30. Clement ND, Gaston P, Bell A, Simpson P, Macpherson G, Hamilton DF, et al. Robotic arm-assisted versus manual total hip arthroplasty. *Bone Joint Res* 2020;10:22-30.
31. Zhang S, Liu Y, Yang M, Ma M, Cao Z, Kong X, et al. Robotic-assisted versus manual total hip arthroplasty in obese patients: a retrospective case–control study. *J Orthop Surg Res* 2022;17:368.
32. Balderi T, Carli F. Urinary retention after total hip and knee arthroplasty. *Minerva Anestesiol* 2010;76:120-30.
33. Azarboo A, Ghaseminejad-Raeini A, Teymoori-Masuleh M, Mousavi SM, Jamalikhah-Gaskareh N, Hoveidaei AH, et al. Risk factors of postoperative urinary retention following total hip and knee arthroplasty. *Bone Jt Open* 2024;5:601-11.
34. Hang L, Haibier A, Kayierhan A, Abudurexiti T. Risk factors for deep vein thrombosis of the lower extremity after total hip arthroplasty. *BMC Surg* 2024;24:256.
35. Santana DC, Emara AK, Orr MN, Klika AK, Higuera CA, Krebs VE, et al. An Update on Venous Thromboembolism Rates and Prophylaxis in Hip and Knee Arthroplasty in 2020. *Medicina (Kaunas)* 2020;56:416.
36. Omichi Y, Tonogai I, Kaji S, Sangawa T, Sairyo K. Meralgia paresthetica caused by entrapment of the lateral femoral subcutaneous nerve at the fascia lata of the thigh: a case report and literature review. *J Med Invest* 2015;62:248-50.
37. Sun H, Lu H, Xiao Q, Ding Z, Luo Z, Zhou Z. The learning curve of a novel seven-axis robot-assisted total hip arthroplasty system: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2024;25:342.
38. Annapareddy A, Jayakumar T, Reddy M, Mulpur P, Gurram VKR, Prasad VBN, et al. Robotic-assisted versus conventional hip arthroplasty: a comparative analysis of perioperative blood management and early outcomes. *SICOT-J* 2024;10:59.
39. Ma M, Cao Z, Yang M, Kong X, Chai W. The invasiveness of robot-assisted total hip replacement is similar to that of conventional surgery. *J Robotic Surg* 2023;17:2987-93.

**Autor: Sara de la Fuente Gómez, Tutor: Aurelio Vega Castrillo, Cotutor: Sergio Chávez Valladares**  
**Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología**  
**Universidad de Valladolid, Facultad de Medicina**

## INTRODUCCIÓN

La primera prótesis total de cadera (PTC) se implantó en el s.XIX y desde entonces está cobrando cada vez más importancia dado el incremento en la incidencia de la enfermedades degenerativas y fracturas de cadera, a consecuencia del envejecimiento poblacional.

Entre los avances logrados en el procedimiento, recientemente ha surgido la tecnología robótica MAKO como alternativa a la intervención mediante la técnica quirúrgica manual. Para reducir las complicaciones postoperatorias es clave lograr la máxima precisión en la colocación de la prótesis.

## OBJETIVOS:

- Comparar la precisión en la colocación del componente acetabular mediante referencias visuales convencionales vs con el sistema robótico MAKO y verificar la correspondencia de la disimetría y la inclinación del cotilo postoperatorias medidas por el robot con los medidos en la radiografía (RX).
- Analizar la pérdida sanguínea intraoperatoria y el desarrollo de complicaciones posoperatorias.



## MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio prospectivo observacional descriptivo. Datos de 40 pacientes intervenidos de PTC entre abril de 2023 y marzo de 2024 en el HCUV, con la técnica convencional o mediante la asistencia robótica MAKO. Se analizaron los datos biomecánicos espino-pélvicos mediante radiografías (RX) en carga y sentados, y se clasificó a los pacientes según la movilidad y forma de su columna lumbo-sacra mediante la Clasificación de Vigdorichik. Análisis estadístico con p-valor <0,05, IC 95%.

## RESULTADOS

Del grupo de estudio, 22 fueron operados mediante el sistema MAKO y 18 con la técnica manual.

Complicaciones (% del total de participantes):

- 5%: meralgia parestésica
- 2,5%: retención aguda de orina (probablemente por la anestesia raquídea)
- 2,5%: tromboflebitis en extremidades inferiores (achacable al procedimiento de implantación de PTC)

(Todas se dieron en el 'grupo MAKO')

Las diferencias en la pérdida sanguínea entre ambos grupos no son estadísticamente significativas.

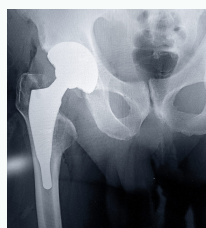


Fig 2. PTC derecha

Fig 1. Valores óptimos para la inclinación del cotilo

Movilidad espino-pélvica	Rigidez		Normal	Hiper-móvil
	Inclinación pélvica >40°	Inclinación pélvica <40°		
Inclin. cotilo	Normal o ↑ (40°- 45°)	↑ (45°)	Normal (40°)	↓ (35°-40°)

No hubo diferencias significativas entre los dos grupos en el ajuste en la posición óptima del componente protésico acetabular según lo adecuado para la movilidad espino-pélvica de cada paciente.

## CONCLUSIONES

- La precisión alcanzada en la planificación y en la colocación de los componentes protésicos no es significativamente superior utilizando el sistema MAKO.
- Las mediciones postoperatorias del MAKO sobre la disimetría y la inclinación del cotilo resultantes, se corresponden con las que se miden en la RX manualmente.
- No se ha objetivado una diferencia estadísticamente significativa respecto a las complicaciones postoperatorias a corto plazo entre ambos grupos de estudio, ni tampoco en la pérdida sanguínea experimentada en la intervención.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Pagan CA, Karasavvidis T, Vigdorichik JM, DeCook CA. Spinopelvic Motion: A Simplified Approach to a Complex Subject. Hip Pelvis 2024;36:77-86.
2. Emara AK, Samuel LT, Acuña AJ, Kuo A, Khlopas A, Kamath AF. Robotic-arm assisted versus manual total hip arthroplasty: Systematic review and meta-analysis of radiographic accuracy. The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery 2021;17:e2332.