

Artículo original

doi: 10.35366/120453

Innovación en artroplastía compleja de cadera (secuela de Perthes y displasia del desarrollo de cadera): utilización de modelos 3D en planificación y simulación quirúrgica. Resultados funcionales y radiográficos. Estudio piloto

Innovation in complex hip arthroplasty (Perthes sequel and developmental dysplasia of the hip): use of 3D models in surgical planning and simulation. Functional and radiographic results. Pilot study

Godoy-Monzón D,* Fernández Sainz-Rozas E,* Pascual-Espinosa JM,* Jiménez-Baquero J*

Hospital de San Rafael, Hospitales Pascual. Cádiz, España.

RESUMEN. Introducción: deformidades anatómicas como la displasia del desarrollo de la cadera y la enfermedad de Perthes representan un desafío para la reconstrucción quirúrgica. La impresión de modelos 3D puede ser útil para evaluar la deformidad, la masa ósea, el tamaño y la orientación del implante. **Objetivos:** evaluar prospectivamente los resultados obtenidos con la simulación en 3D para cirugía de artroplastía total de cadera primaria. **Material y métodos:** entre Enero de 2019 y Marzo de 2020, 22 pacientes recibieron una copa de titanio trabecular y un vástago de preservación de cuello tras la creación de modelos plásticos 3D preoperatorios y simulación quirúrgica. Criterios de inclusión: secuela de Perthes, displasia del desarrollo de cadera tipo I y II de la clasificación de Crowe. Criterios de exclusión: fracturas, infección previa e implantes metálicos remanentes. Se registraron datos demográficos, tiempo de cirugía, pérdida de sangre y complicaciones, así como las puntuaciones prequirúrgicas y postquirúrgicas del *Harris Hip Score* (HHS) y la evaluación subjetiva de Roles y Maudsley. También se evaluaron los hallazgos radiográficos y la puntuación de osteointegración según los criterios de Moore. **Resultados:** la edad promedio de los pacientes fue 35 años (rango: 18-57), con 15 mujeres y siete hombres. El tiempo promedio para el proceso de modelado 3D, desde

ABSTRACT. Introduction: anatomical deformities such as developmental dysplasia of the hip (DDH) and Perthes disease represent a challenge for reconstruction. The use of 3D-printed models can be helpful for assessing the deformity, bone mass, implant size, and orientation. **Objectives:** to prospectively evaluate the outcomes of 3D simulation in primary total hip arthroplasty. **Material and methods:** between January 2019 and March 2020, 22 patients received a trabecular titanium cup and a neck preserving stem after preoperative planning with 3D plastic models and surgery simulation. Inclusion criteria: sequelae of Perthes, hip dysplasia type I and II Crowe classification. Exclusion criteria: fractures, previous infection, remaining metal implants. Demographic data, surgery time, blood loss, and complications were recorded. Preoperative and postoperative Harris Hip Score (HHS) and subjective satisfaction using the Roles and Maudsley scale were evaluated, along with radiographic findings and Moore's criteria for osteointegration. **Results:** the average patient age was 35 years (range: 18-57), with 15 women and seven men. The 3D modeling process, from CT scan acquisition to final model production, took an average of 3.4 hours, and the surgery simulation lasted an average of 32 minutes. In all cases, the acetabular cup size was correct, with only

Nivel de evidencia: IV, estudio prospectivo de serie de casos

* Servicio de Ortopedia y Traumatología, Hospital de San Rafael, Hospitales Pascual. Cádiz, España.

Correspondencia:

Dr. Daniel Godoy-Monzón

Hospital de San Rafael. Calle Diego Arias 2, Cádiz, España, C.P. 11002.

E-mail: danigodoy@yahoo.com

Recibido: 07-10-2024. Aceptado: 21-10-2024.

Citar como: Godoy-Monzón D, Fernández Sainz-Rozas E, Pascual-Espinosa JM, Jiménez-Baquero J. Innovación en artroplastía compleja de cadera (secuela de Perthes y displasia del desarrollo de cadera): utilización de modelos 3D en planificación y simulación quirúrgica. Resultados funcionales y radiográficos. Estudio piloto. Acta Ortop Mex. 2025; 39(4): 212-219. <https://dx.doi.org/10.35366/120453>



la adquisición de la tomografía computarizada hasta la producción del modelo final, fue de 3.4 horas, mientras que la simulación de la cirugía tomó un promedio de 32 minutos. En todos los casos, la copa acetabular se colocó correctamente, con solo una diferencia en el tamaño del vástago femoral. El seguimiento promedio fue 40.7 meses. El HHS aumentó, en promedio, de 37.5 ± 5.8 preoperatoriamente a 90.0 ± 2.3 en el último seguimiento. El tiempo quirúrgico promedio fue 71 minutos y la pérdida de sangre promedio fue 260 ml. Las complicaciones incluyeron un caso de parestesia temporal (recuperada a los 50 días postoperatorios), una infección superficial y una infección profunda. Todos los componentes permanecieron estables en el seguimiento final. **Conclusión:** la simulación en 3D permitió una correcta colocación de los implantes, con una mejora significativa en las puntuaciones funcionales y subjetivas.

Palabras clave: modelos impresos en 3D, artroplastía total de cadera, vástago corto, copa de titanio 3D.

one discrepancy in the femoral stem size. The average follow-up was 40.7 months. The average HHS increased from 37.5 ± 5.8 preoperatively to 90.0 ± 2.3 at the final follow-up. The average surgery time was 71 minutes, and the average blood loss was 260 ml. Complications included one case of temporary paresthesia (resolved by 50 days postoperatively), one superficial infection, and one deep infection. All components were stable at the final follow-up. **Conclusions:** 3D simulation allowed for accurate implant placement with significant improvement in both functional and subjective scores.

Keywords: 3D printed models, total hip arthroplasty, short stem, 3D titanium cup.

Abreviaturas:

ATC = artroplastía total de cadera

DDC = displasia del desarrollo de cadera

HHS = *Harris Hip Score* (puntuación de cadera de Harris)

TAC = tomografía axial computarizada

Introducción

La artroplastía total de cadera (ATC) es considerada uno de los procedimientos ortopédicos más exitosos del último siglo, porque mejora el dolor y la movilidad, lo que produce una mejora sustancial en la calidad de vida de los pacientes, con un impacto marcado en la población más joven.^{1,2}

La restitución de la biomecánica de la cadera es un requisito primordial para determinar el éxito a largo plazo de la ATC, especialmente en adultos jóvenes, quienes tienen una esperanza de vida prolongada y mayores demandas funcionales.³ En estos pacientes, es probable que los implantes deban ser revisados al menos una vez en su vida.⁴ En este sentido, el correcto posicionamiento del implante, la capacidad de restaurar el offset femoral, la discrepancia de los miembros inferiores y las complicaciones durante la implantación son factores que podrían afectar potencialmente la supervivencia del implante.

Tal como mencionan Moya y colaboradores,⁵ la Comisión Europea ha considerado la impresión 3D como una tecnología disruptiva que ha alcanzado la cirugía ortopédica, permitiendo replicar la anatomía, planificar y realizar simulaciones de cirugías complejas de manera personalizada, así como la fabricación de guías y sistemas de colocación de implantes de forma individualizada.

El propósito de este trabajo es analizar los resultados obtenidos en cirugías complejas de cadera, como secuelas de Perthes y de la displasia del desarrollo de cadera (DDC), utilizando programación 3D y simulación de los procedimientos.

Material y métodos

Después de la aprobación del protocolo de estudio por el Comité de Ética de Protocolos de Investigación del hospital y la firma del consentimiento informado, se incluyeron pacientes para cirugía primaria de cadera con antecedentes de DDC tipo I y II de la clasificación de Crowe y secuelas de Perthes de forma prospectiva, entre Enero de 2019 y Marzo de 2020, con un seguimiento mínimo de 24 meses. Se excluyeron pacientes con infección previa, implantes remanentes y fracturas.

Protocolo preoperatorio

Se capturaron imágenes mediante tomografía axial computarizada (TAC) (Aquilion Prime, Canon Medical Systems Cooperation, Otawara, Japón) de 160 cortes y 1 mm de espesor. Las imágenes en formato DICOM (protocolo estándar de comunicación entre sistemas de información y formato de almacenamiento de imágenes médicas, desarrollado por el *American College of Radiology* en asociación con la *National Electrical Manufacturers Association* de los Estados Unidos)⁶ se procesaron y se programaron con el *software Slicer 3D* (Prusa, República Checa), un *software* gratuito para la creación de archivos para impresión 3D, con simulación de componentes y su colocación.

El modelo 3D se imprimió con una impresora Prusa mk3i3, utilizando tecnología de adición mediante moldeado por extrusión fundida. Se recopilieron los datos del proceso de captura de imagen, programación, impresión del modelo y simulación con el programa Fusion 360, así como la concordancia de los resultados intraquirúrgicos.

Las secuencias están ilustradas en las *Figuras 1 a 7*.

La programación prequirúrgica estándar se realizó con radiografías anteroposteriores y axiales de cadera.



Figura 1: Rx Anteroposterior de caderas. Paciente con secuela de Perthes.

Técnica quirúrgica

Todas las intervenciones fueron realizadas por el mismo equipo de cirujanos especializados en cirugía de cadera. Se utilizó un abordaje posterolateral con reparación capsular y reinserción de los músculos rotadores, respetando el músculo piriforme, siguiendo la técnica descrita por Pellicci.⁶ Los pacientes recibieron un gramo de cefazolina 45 minutos antes de la cirugía, seguido de dosis cada 12 horas durante 24 horas postoperatorias.

A todos los pacientes se les implantó una copa acetabular no cementada JUMP Traser® System (Permedica, Italia) y un vástago Alteon Neck Preserving® (Exactech, Estados Unidos), con un par de fricción metal-polietileno. Se realizó trombopprofilaxis con enoxaparina 40 mg cada 24 horas. El mismo día de la cirugía, se indicaron ejercicios de contracción del cuádriceps, sedestación y bipedestación. En los días siguientes, se brindó educación sobre la marcha con andador y se progresó gradualmente en la carga de peso según la tolerancia del paciente.

Se registraron los datos demográficos, la longitud del abordaje, la duración de la cirugía, la pérdida de sangre y las complicaciones.

La evaluación clínica se llevó a cabo en visitas programadas: prequirúrgica, a las tres semanas, a los tres y seis meses y al año, con seguimientos anuales subsecuentes.

La funcionalidad se evaluó mediante la puntuación del *Harris Hip Score* (HHS) en cada una de las visitas programadas.⁷

La satisfacción subjetiva de los resultados se evaluó utilizando la escala de Roles y Maudsley, que es una escala de cuatro puntos para la evaluación del dolor y las limitaciones. Los resultados se clasifican como: 1, excelente, sin dolor ni limitaciones después del tratamiento; 2, mejora significativa después del tratamiento; 3, mejora relativa después del tratamiento; y 4, pobre, con síntomas similares o peores después del tratamiento.⁸

Para la evaluación radiográfica se tomaron radiografías anteroposteriores y axiales de las caderas en las visitas programadas.

Evaluación acetabular

Se utilizó el método de Ackland para medir la anteversión⁹ y para la inclinación acetabular, se trazó una línea que pasaba a través de los vértices del componente acetabular y el borde posterior de la imagen en lágrima, considerando, de acuerdo con la zona descrita por Lewinnek, una inclinación de $40^\circ \pm 10^\circ$.¹⁰

Se utilizaron las tres zonas descritas por DeLee¹¹ para ubicar, en caso de aparición, las líneas radiolúcidas. El aflojamiento acetabular se definió como la progresión de líneas radiolúcidas en tres radiografías de controles consecutivos, la migración de la copa acetabular $> 5^\circ$ o la ruptura de tornillos.

Evaluación femoral

Se utilizó la clasificación de Gruen para evaluar la topografía de la osteólisis o las líneas radiolúcidas.¹² El hundimiento se determinó según el método descrito por Loudon y Charnley.¹³ El aflojamiento se definió como un hundimiento mayor a 5 mm o la progresión de líneas radiolúcidas o la demarcación del vástago. También se evaluó la presencia de imágenes radioopacas en la periferia del vástago femoral como signo de osteointegración.

La medición de la discrepancia en la longitud de los miembros se realizó empleando un punto fijo en la pelvis (en el borde inferior de la imagen en lágrima) y el borde proximal del trocánter menor.¹⁴

Se utilizó la clasificación de Brooker para evaluar la aparición de calcificaciones heterotópicas, siendo: grado 0, ausencia de calcificaciones; grado 1, zonas aisladas de hueso; grado 2, más de 1 cm entre zonas de hueso; grado 3, menos de 1 cm entre zonas de hueso; y grado 4, anquilosis ósea.¹⁵

La osteointegración de los componentes se evaluó de acuerdo con los criterios de Moore:

1. Ausencia de líneas radiolúcidas.
2. Aumento del trabeculado en la zona superolateral.
3. Aumento del trabeculado en la zona inferomedial.
4. Desaparición de la esclerosis en el domo acetabular.
5. Presencia de trabeculado radial hacia el implante.¹⁶

Análisis estadístico

Las valoraciones preoperatorias y postoperatorias se compararon utilizando la prueba t para muestras pareadas en el caso de las variables continuas, presentándose como medias y desviaciones estándar. Para las variables categóricas, se utilizaron frecuencias absolutas y relativas. Se realizó un análisis estadístico utilizando la prueba t de Student, con un intervalo de confianza de 95% para calcular las diferencias entre grupos, tanto en las puntuaciones funcionales como en las complicaciones. El software utilizado fue STATA versión 15 (StataCorp, College Station, TX). Se

consideraron estadísticamente significativos los valores de p inferiores a 0.05.

Resultados

La edad promedio fue 35 ± 4.1 años (rango: 18-57), con 15 mujeres y siete hombres. El seguimiento promedio fue 40.7 ± 7.9 meses (rango: 24 a 66). La programación con la sistemática estándar tuvo una duración media de 20 ± 2 minutos (rango: 13 a 25). Hubo diferencias en los tamaños programados con la sistemática estándar en cinco casos para la copa acetabular y en dos casos para el vástago femoral.

El proceso de modelado 3D, desde la adquisición de la TAC hasta la producción final del modelo, tomó un promedio de 3.4 ± 1.1 horas (rango: 2 a 5.5) y la simulación quirúrgica duró en promedio 32 ± 6.3 minutos (rango: 17 a 51). En todos los casos, el tamaño de la copa acetabular fue correcto con el uso del modelo 3D; se detectó una discrepancia de tamaño en un vástago femoral.

La duración promedio de la cirugía fue 71 ± 4.5 minutos (rango: 62-91), con un tamaño promedio del abordaje de 15 ± 2.5 cm. El sangrado promedio fue 260 ± 90 ml, sin necesidad de transfusiones intraoperatorias ni postoperatorias.

Complicaciones

Hubo una parestesia temporal que se resolvió a los 50 días postoperatorios (se comprobó lesión incompleta por electromiografía con sintomatología de limitación a la flexión, extensión y eversion de pie; se realizó tratamiento con

terapia física, rehabilitación, pregabalina y carbamazepina), una infección superficial de la herida tratada con el retiro de las grapas y antibióticos durante siete días y un caso de infección profunda que requirió desbridamiento quirúrgico, cambio del inserto de polietileno y tratamiento con antibióticos intravenosos durante seis semanas, sin complicaciones al final del seguimiento.

Evaluación clínica

El HHS aumentó en promedio de 37.5 ± 5.8 preoperatoriamente a 90.0 ± 2.3 (rango: 86-98) en el último seguimiento ($p < 0.001$).

El puntaje de satisfacción según Maudsley y Role fue de cuatro puntos, siendo excelente en 19 casos (86.4%) y los tres restantes (13.6%) obtuvieron tres puntos con mejoría significativas, no presentándose resultados regulares o malos.

Evaluación radiográfica

La anteversión acetabular tuvo un promedio de 10° (IQR 0° - 15°), no observándose componentes acetabulares retroversos. El ángulo de inclinación tuvo una mediana de 43° (rango intercuartílico [RIC]: 38° a 51°). En dos (9.9%) pacientes se detectaron líneas radiolúcidas sin progresión o significancia clínica; el resto de los sujetos presentaron cinco de los signos radiográficos de Moore para osteointegración del cotilo. En 20 pacientes (90.1% de la serie), la medición postoperatoria de la longitud de los miembros no encontró discrepancia entre el operado y el contralateral, en

Figura 2:

Radiografías preoperatorias:
A) anteroposterior y B) axial.

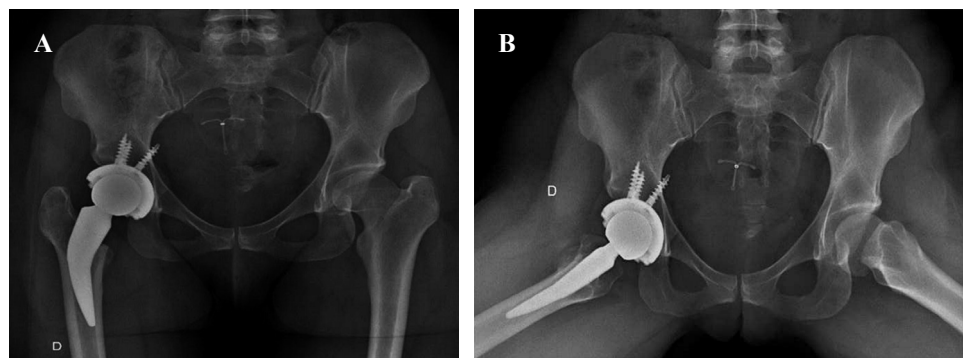
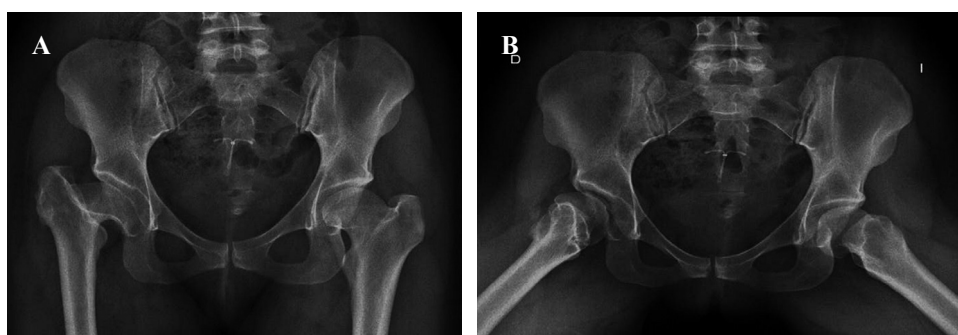


Figura 3:

Radiografías postoperatorias:
A) anteroposterior y B) axial.



Figura 4:

Modelo de pelvis
y fémur.

un caso se presentó una hipermetría menor a 0.5 cm y una hipermetría entre 0.5 a 1 cm. En ningún caso hubo disconformidad con el resultado funcional. Se detectó la aparición de calcificaciones heterotópicas de tipo 1 (clasificación de Brooker) en dos casos, sin ninguna relevancia clínica.

Discusión

La incorporación de modelos 3D impresos en la planificación de la artroplastía total de cadera (ATC) para casos complejos con distorsión de la anatomía y desbalance muscular, como los presentados en este estudio, representa una innovación significativa en el ámbito de la cirugía ortopédica.

La planificación estándar tuvo una duración promedio de 20 minutos versus 32 minutos con planificación 3D, aunque hubo diferencias significativas en los resultados comparativos con los implantes colocados.

Anatomía. La técnica quirúrgica es demandante. Las anomalías acetabulares siempre van acompañadas de una fosa acetabular poco profunda y una pared acetabular deficiente, lo que hace extremadamente difícil para los cirujanos identificar el acetábulo real y colocar la copa en una orientación razonable. Además, existe una alteración en el extremo proximal del fémur.¹⁷

Acetábulo. El componente acetabular utilizado es de titanio trabecular con impresión 3D por EBM (*Electron Beam Molding*), con un coeficiente de fricción alto y una porosidad aumentada. Estas propiedades, según lo analizado por Saleh, reducen el micromovimiento, mejorando la estabilidad y la fijación inicial, además de favorecer la osteointegración.¹⁸ Los resultados obtenidos muestran una fijación estable sin alteraciones durante el período de seguimiento promedio de 40.7 meses, con líneas radiológicas de osteointegración, de acuerdo con los criterios de Moore. Estos hallazgos coinciden con lo reportado en cotilos de fabricación similar, como describe Geng. En su estudio, no hubo fallas en 92 casos, con la aparición de líneas radiolúcidas en 18

caderas, líneas que desaparecieron en seis meses, y una tasa de supervivencia general de 99.1%, con una tasa de supervivencia del cotilo de 100%.¹⁹

Perticarini informó por primera vez sobre el uso exitoso de copas acetabulares de titanio trabecular en pacientes con artrosis primaria de cadera, necrosis avascular o DDC, registrando una recuperación funcional significativa y un alivio del dolor en los 133 casos con un seguimiento mínimo de cinco años.²⁰ En el presente estudio, la concordancia de los resultados intraquirúrgicos con la simulación 3D, junto con la diferencia significativa observada en las discrepancias respecto a la simulación estándar, confirma la eficacia de esta herramienta en la planificación preoperatoria. En la simulación estándar, se detectaron cinco copas y dos vástagos diferentes a lo programado, lo que resalta la precisión adicional que ofrece la simulación 3D. Resultados similares a los obtenidos por Morgan, quien comparó el uso de modelos 3D y métodos convencionales en la planificación de ATC complejas, encontrando que los modelos 3D mejoraron la precisión del tamaño y la posición del implante acetabular, reduciendo la variabilidad interobservador y el riesgo de complicaciones.²¹

Similar a lo reportado en 620 prótesis evaluadas, con una coincidencia de 85% en acetábulos; y de 90%, en vástagos después de la programación digital 2D.²²

Con respecto a la orientación de los cotilos, todos se encontraron dentro de la zona de Lewinnek, con un promedio de 43° y una anteversión promedio de 10°. Resultados equi-



Figura 5:

Modelo de implantes.

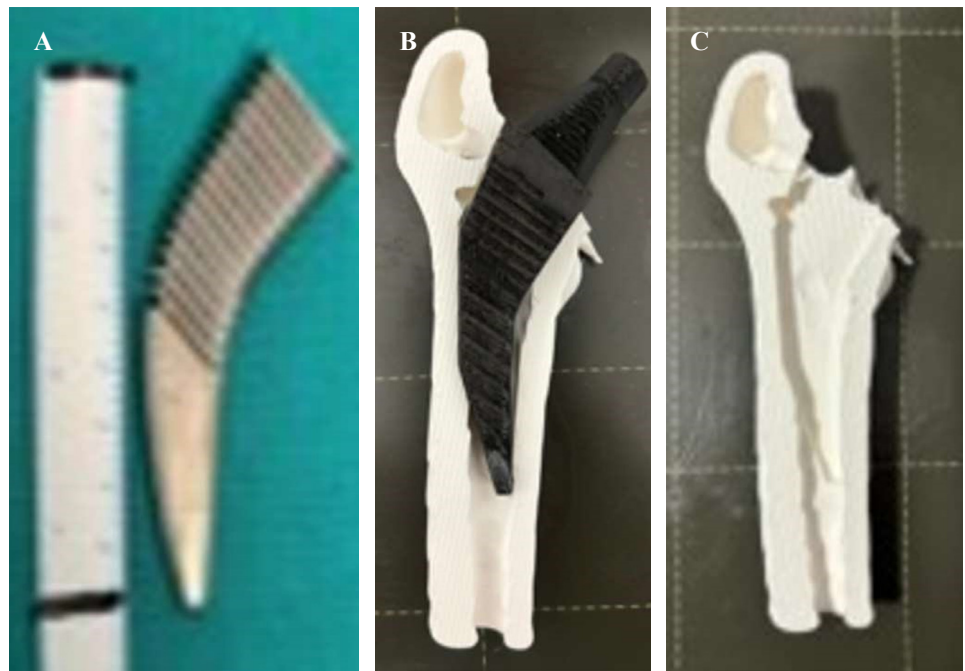


Figura 6:

- A) Vástago femoral y medidas,
 B) modelo de fémur y vástago,
 C) modelo femoral con labrado posterior a raspa.

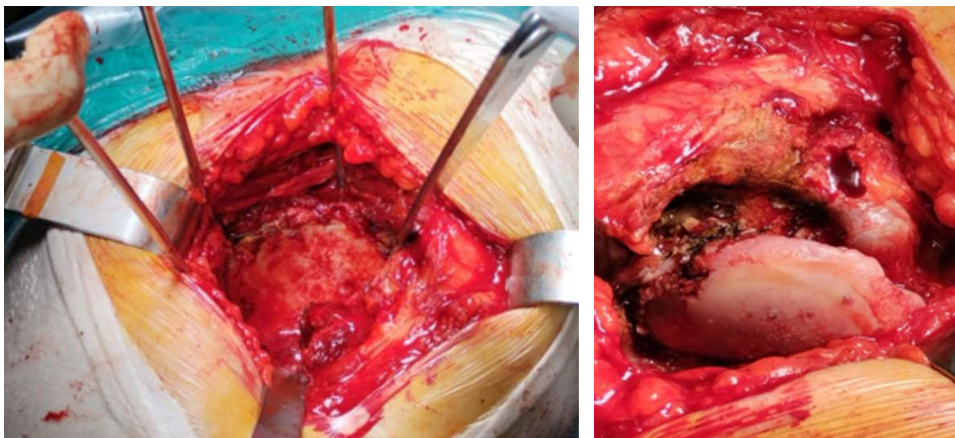


Figura 7:

Fotografías intraoperatorias de acetábulo y cabeza femoral.

valentes a los logrados en series con implantes similares en población joven.^{23,24}

Vástago. La filosofía de fijación del vástago investigado, catalogado como tipo 1B según la clasificación de Kheir, se basa en una fijación en tres puntos: calcar, cortical proximal femoral y metáfisis. Esto proporciona estabilidad rotacional sin invadir el canal diafisario, lo que evita parte de las incongruencias que se observan en los fémures tipo A (según la clasificación de Dorr), más frecuentes en adultos jóvenes y en secuelas de Perthes y DDC.^{25,26}

La evaluación radiográfica mostró la formación de hueso trabecular alrededor del vástago dentro de los primeros tres a seis meses. Durante el seguimiento, no se observó progresión en los casos de migración inicial. En correlación con los resultados clínicos, coincidimos con estudios previos publicados en un estudio multicéntrico y con los hallazgos de Wittenberg, quienes informaron que estos tallos se estabilizan secundariamente. Jahnke reportó migra-

ciones de hasta 1.5 mm en la orientación en varo-valgo, con posterior estabilización y sin relevancia clínica en pacientes evaluados con *Ein Bild Röntgen Analyse* (EBRA-FCA). Esto respalda la teoría de que un tallo corto colocado en varo o valgo no necesariamente está mal colocado. Por el contrario, creemos que la versatilidad del vástago de preservación en mayor o menor valgo es una herramienta eficaz para restituir la biomecánica de la cadera nativa del paciente.^{23,27,28,29}

En 90% de los casos, no se encontraron discrepancias de longitud, tal como se ha descrito en series previas con implantes similares, lo que confirma que la planificación adecuada y la versatilidad de los implantes permiten obtener resultados reproducibles.^{23,24}

Resultados funcionales y subjetivos. En nuestra serie, la mejoría en la escala de Harris (*Harris Hip Score* [HHS]) fue significativa al año de seguimiento, con una $p < 0.01$, pasando de 42.9 puntos en el preoperatorio (ran-

go: 37-54) a 93.2 puntos (rango: 87-96). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Wang, quien reportó un HHS preoperatorio de 40.65 ± 9.66 puntos y de 87.29 ± 4.40 a los 24 meses, y son similares a los obtenidos por nuestro grupo en series de cirugía primaria en estudios previos.^{23,24,30} Los resultados de satisfacción subjetiva incluyeron calificaciones de excelentes y buenos en todos los casos, equivalente a lo obtenido en series previas con implantes similares.^{23,24}

Además, la duración de la cirugía (promedio de 71 minutos) y la minimización de la pérdida sanguínea (260 $\pm$ 90 ml) reflejan un procedimiento quirúrgico eficiente, con resultados análogos a los obtenidos durante una cirugía primaria utilizando un abordaje similar.^{23,24,29,30}

Complicaciones. Tal como se mencionó, hubo una tasa baja de complicaciones con una parestesia temporal que resolvió a los 50 días postoperatorios (se comprobó lesión incompleta por electromiografía con sintomatología de limitación a la flexión, extensión y eversión de pie; se realizó tratamiento con terapia física, rehabilitación, pregabalina y carbamazepina), una infección superficial de la herida tratada con el retiro de las grapas y antibióticos durante siete días y un caso de infección profunda que requirió desbridamiento quirúrgico, cambio del inserto de polietileno y tratamiento con antibióticos intravenosos durante seis semanas de acuerdo al protocolo recomendado por Uriarte y colaboradores,³¹ confirmando lo propuesto por el rápido diagnóstico (fue realizado dentro de los primeros 10 días de postoperatorio) y, siendo un paciente joven sin comorbilidades, no requirió nuevos procedimientos y el paciente e implante tienen buena evolución al final del seguimiento. Las complicaciones encontradas, incidencia y evolución y su tratamiento coinciden con la bibliografía aportada por Valles-Figueroa,³² siendo todas tratadas y resueltas sin afectación funcional al final de seguimiento.

Limitaciones. A pesar de los resultados prometedores, es importante destacar algunas limitaciones del estudio. En primer lugar, la muestra es relativamente pequeña (22 pacientes), aunque se trata de patologías con una incidencia poco frecuente, lo que podría limitar la generalización de los resultados. Además, el seguimiento promedio de 40.7 meses, aunque adecuado, puede no ser suficiente para evaluar completamente la longevidad del implante y la tasa de complicaciones a largo plazo, aunque sí permite evaluar la efectividad de la colocación del implante utilizado. El estudio se realizó en un solo centro, lo que contribuye a la sistematización y estandarización de los protocolos.

Se requieren estudios multicéntricos con muestras más grandes y un seguimiento a largo plazo para validar los hallazgos y determinar el impacto real de la tecnología de impresión 3D en diversos entornos clínicos. Además, futuras investigaciones podrían explorar la integración de la inteligencia artificial en la planificación quirúrgica para optimizar aún más el proceso preoperatorio.

Conclusión

El estudio aporta evidencia sobre los beneficios de utilizar modelos 3D impresos para la planificación de ATC complejas, siendo mejor a los resultados propuestos para planificación estándar.

Los hallazgos muestran mejoras significativas en los resultados funcionales y radiográficos y sugieren una posible reducción de complicaciones, lo que respalda la adopción de esta tecnología en la práctica clínica.

Referencias

1. Learmonth ID, Young C, Rorabeck C. The operation of the century: total hip replacement. *Lancet*. 2007; 370(9597): 1508-19.
2. Knight SR, Aujla R, Biswas SP. Total hip arthroplasty - over 100 years of operative history. *Orthop Rev (Pavia)*. 2011; 3(2): e16.
3. Gallart X, Riba J, Fernández-Valencia JA, Bori G, Munoz-Mahamud E, Combalia A. Hip prostheses in young adults: Surface prostheses and short-stem prostheses. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2018; 62(2): 142-52.
4. Pivec R, Johnson AJ, Mears SC, Mont MA. Hip arthroplasty. *Lancet*. 2012; 380(9855): 1768-77.
5. Moya D, Gobbato B, Valente S, Roca R. Uso de planificación preoperatoria e impresión 3D en ortopedia y traumatología: ingresando en una nueva era. *Acta Ortop Mex*. 2022; 36(1): 39-47.
6. Pellicci PM, Bostrom M, Poss R. Posterior approach to total hip replacement using enhanced posterior soft tissue repair. *Clin Orthop Relat Res*. 1998; (355): 224-8.
7. Lara-Taranchenko Y, Pujol O, González-Morgado D, Hernández A, Barro V, Soza D. Validation of the Spanish version of the modified Harris score. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2024; 68(2): 121-7.
8. Roles NC, Maudsley RH. Radial tunnel syndrome: resistant tennis elbow as a nerve entrapment. *J Bone Joint Surg Br*. 1972; 54(3): 499-508.
9. Ackland MK, Bourne WB, Uhthoff HK. Anteversion of the acetabular cup. Measurement of angle after total hip replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 1986; 68(3): 409-13.
10. Lewinnek GE, Lewis GL, Tarr R, Compere CL, Zimmerman JR. Dislocations after total hip-replacement arthroplasties. *J Bone Joint Surg Am*. 1978; 60(2): 217-20.
11. DeLee JG, Charnley J. Radiological demarcation of cemented sockets in total hip replacement. *Clin Orthop Relat Res*. 1976; (121): 20-32.
12. Gruen TA, McNeice GM, Amstutz HC. Modes of failure of cemented stem-type femoral components: a radiographic analysis of loosening. *Clin Orthop Relat Res*. 1979; (141): 17-27.
13. Loudon JR, Charnley J. Subsidence of the femoral prosthesis in total hip replacement in relation to the design of the stem. *J Bone Joint Surg Br*. 1980; 62(5): 450-3.
14. Kjellberg M, Al-Amiry B, Englund E, Sjöden GO, Sayed-Noor AS. Measurement of leg length discrepancy after total hip arthroplasty: The reliability of a plain radiographic method compared to CT-scanogram. *Skeletal Radiol*. 2012; 41(2): 187-91.
15. Brooker AF, Bowerman JW, Robinson RA, Riley LH. Ectopic ossification following total hip replacement: Incidence and a method of classification. *J Bone Joint Surg Am*. 1973; 55(8): 1629-32.
16. Moore MS, McAuley JP, Engh CA. Radiographic signs of osseointegration in porous-coated acetabular components. *Clin Orthop Relat Res*. 2006; 444: 176-83.
17. Yang Y, Zuo J, Liu T, Xiao J, Liu S, Gao Z. Morphological analysis of true acetabulum in hip dysplasia (Crowe classes I-IV) via 3-D implantation simulation. *J Bone Joint Surg Am*. 2017; 99(17): e92.
18. Saleh KJ, Bear B, Bostrom M, Wright TM, Salvati EA. Initial stability of press-fit acetabular components: An in vitro biomechanical study. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2008; 37(10): 519-22.
19. Geng X, Li Y, Li F, Wang X, Zhang K, Liu Z, et al. A new 3D printing porous trabecular titanium metal acetabular cup for primary total hip

- arthroplasty: A minimum 2-year follow-up of 92 consecutive patients. *J Orthop Surg Res*. 2020; 15(1): 383.
20. Perticarini L, Zanon G, Rossi SMP, Traina F, Laus M, Baldini N. Clinical and radiographic outcomes of a trabecular titanium acetabular component in hip arthroplasty: Results at minimum 5 years follow-up. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015; 16: 375.
 21. Morgan A, Atkinson HD, Davis ET, Ranawat AS, Kane P, Singh PJ. Improved outcomes in total hip arthroplasty with 3D printed models: A comparative study. *J Arthroplasty*. 2020; 35(3): 1234-40.
 22. Dammerer D, Keiler A, Herrnegger S, Putzer D, Strasser S, Liebensteiner M. Accuracy of digital templating of uncemented total hip arthroplasty at a certified arthroplasty center: A retrospective comparative study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022; 142(10): 2471-80.
 23. Godoy-Monzón D, García-Mansilla A, Jiménez-Baquero J, Fernández-Rozas E, Pascual JM, Campelo D. ¿Cuándo se reanuda la conducción después del reemplazo total de cadera primario? *Acta Ortop Mex*. 2023; 37(2): 94-8.
 24. Godoy-Monzon D, Martinez S, Perez Torres J, Avendano Duran FE, Pascual JM, Garcia-Mansilla AM. Primary outcomes of a femoral neck-preserving stem: A multicentre clinical-radiological analysis at 5-year follow-up. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2022; 32(3): 533-40.
 25. Kheir MM, Drayer NJ, Chen AF. An update on cementless femoral fixation in total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2020; 102(14): 1271-82.
 26. Dorr LD, Faugere MC, Mackel AM, Gruen TA, Bogner B, Malluche HH. Structural and cellular assessment of bone quality of proximal femur. *Bone*. 1993; 14(3): 231-42.
 27. Wittenberg RH, Steffen R, Windhagen H, Bücking P, Wilcke A. Five-year results of a cementless short-hip-stem prosthesis. *Orthop Rev (Pavia)*. 2013; 5(1): e4.
 28. Jahnke A, Wiesmair A, Fonseca Ulloa CA, Ahmed GA, Rickert M, Ishaque BA. Outcome of short- to medium-term migration analysis of a cementless short stem total hip arthroplasty using EBRA-FCA: A radiological and clinical study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020; 140(2): 247-53.
 29. Wang C, Xiao H, Yang W, Zhang Z, Ding Z, Yang Y. Accuracy and practicability of a patient-specific guide using acetabular superolateral rim during THA in Crowe II/III DDH patients: A retrospective study. *J Orthop Surg Res*. 2019; 14(1): 19.
 30. Ait Mokhtar M. Postero-posterolateral approach in total hip arthroplasty. *Int Orthop*. 2020; 44(12): 2577-85.
 31. Uriarte I, Moreta J, Mosquera J, Legarreta MJ, Aguirre U, Martínez de Los Mozos JL. Debridement, antibiotics and implant retention for early periprosthetic infections of the hip: outcomes and influencing factors. *Hip Pelvis*. 2019; 31(3): 158-165. doi: 10.5371/hp.2019.31.3.158.
 32. Valles-Figueroa JF, Rodríguez-Reséndiz F, Muñoz-Arreola FJ, Dávila-Olguín A. Estudio comparativo de los eventos adversos entre el abordaje posterolateral y lateral directo para artroplastía primaria de cadera no cementada en pacientes mayores de 65 años con fracturas del cuello. *Acta Ortop Mex*. 2015; 29(1): 1-12.

Financiación: este trabajo no ha recibido ningún tipo de financiación.

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.