

---

# Universidad de Valladolid

TRABAJO DE FIN DE GRADO

CURSO 2023-2024

## REVISIÓN SISTEMÁTICA DE APLICACIONES DE IMPRESIÓN 3D EN CIRUGÍA ORTOPÉDICA DE CADERA (ACTUALIZACIÓN)

AUTOR: CRISTINA ÁLVAREZ BARBERO

TUTOR: IGNACIO AGUADO MAESTRO

COTUTOR: IGNACIO GARCÍA CEPEDA

SERVICIO DE TRAUMATOLOGÍA Y CIRUGÍA ORTOPÉDICA DEL HURH



# ÍNDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
1.1. Flujo de trabajo en la impresión 3D médica .....	2
1) Adquisición de imágenes.....	2
2) Segmentación y generación de la malla.....	3
3) Procesado de la malla .....	4
4) Impresión 3D .....	5
1.2. Tipos de impresoras 3D .....	6
1.2.1. Fotopolimerización en tanque.....	7
1.2.2. Impresión por extrusión de material.....	7
PLA (Ácido Poliláctico).....	7
ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).....	7
1.3. Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía ortopédica de cadera hasta el 31 de diciembre de 2021 .....	8
1.4. Objetivos.....	9
<b>2. Métodos.....</b>	<b>9</b>
2.1. Revisión sistemática .....	9
<b>3. Resultados.....</b>	<b>10</b>
3.1. Revisión sistemática .....	10
3.2. Aplicaciones de la impresión 3D en cadera.....	12
<b>4. Discusión .....</b>	<b>19</b>
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>20</b>
<b>6. Agradecimientos.....</b>	<b>21</b>
<b>7. Bibliografía.....</b>	<b>21</b>

# 1. Introducción

La tecnología de impresión 3D, también conocida como fabricación aditiva, se basa en la creación de objetos a partir de modelos digitales en 3D, construyendo capa por capa y fusionando diferentes materiales en el proceso.<sup>1</sup> Este 1984 apareció este término, con Chuck Hall, que fue el que ideó el "dispositivo para la producción de objetos tridimensionales mediante estereolitografía".<sup>2</sup> Una de las principales ventajas de la impresión 3D, más allá de su habilidad para confeccionar objetos de formas extremadamente complejas, es que el costo asociado no se incrementa por la complejidad de la forma, sino únicamente por el tamaño del objeto.<sup>3</sup> La liberación de patentes y la disminución de precios en impresoras (actualmente disponibles en tiendas online por menos de 300 euros) ha permitido que incluso profesionales médicos, con un enfoque creativo, adopten esta tecnología.

## 1.1. Flujo de trabajo en la impresión 3D médica

Este concepto hace referencia a todas las etapas que se realizan en el ámbito de la impresión 3D aplicada a la medicina, las cuales se pueden organizar en cuatro fases distintas.

### 1) Adquisición de imágenes

Se utilizan distintas técnicas para medir y crear modelos de objetos ya existentes, en este caso del cuerpo humano, tanto de la superficie como de su interior. Entre los métodos más usuales se destacan:

- Escáneres 3D
- Tomografía computarizada (TAC)
- Resonancia magnética nuclear (RMN)
- Ecografía.

Estos 3 últimos no solo permiten capturar volúmenes en la superficie, sino también realizar reconstrucciones tridimensionales de las estructuras internas del cuerpo humano.<sup>3</sup> La elección adecuada del método de captura es esencial, ya que las imágenes de baja resolución pueden ocasionar discrepancias entre el modelo y la anatomía real del paciente. Para almacenar imágenes médicas, se utiliza el formato de archivos DICOM (Comunicación y Manejo de Imágenes Digitales en Medicina).

### ○ *Adquisición de imágenes mediante tomografía axial computarizada (TAC)*

Los cortes axiales derivados de la tomografía axial computarizada (TAC) son los más utilizados en nuestro campo, ya que constituyen la mejor herramienta de diagnóstico para examinar las estructuras óseas. Debemos ajustar nuestra TAC según las necesidades de la impresión.

Es necesario lograr un equilibrio entre conservar la información y reducir el ruido en las imágenes. Para obtener la imagen óptima, se recomienda que el paciente esté cómodo y esté quieto durante el estudio para que el movimiento, no cree artefactos.

### ○ *Adquisición de imágenes mediante resonancia nuclear magnética (RMN)*

La resonancia magnética nuclear (RMN) tiene un gran potencial, ya que ofrece una excelente resolución de los tejidos sin recurrir a radiaciones ionizantes. No obstante, aún existen desafíos que la RMN debe superar para convertirse en el método de adquisición ideal, como los artefactos de movimiento relacionados con la duración del estudio o el grosor de los cortes.

### ○ *Adquisición de imágenes mediante ecografía*

Más comúnmente empleada en el ámbito de la cardiología, la aplicación de sondas ecográficas en 3D posibilita la generación de representaciones tridimensionales de estructuras, que luego pueden ser segmentadas. Aunque ofrece la ventaja de ser segura para el paciente al no involucrar radiación ionizante, aún mejorarse de la limitada resolución con la que se obtienen las imágenes.<sup>4</sup>

## 2) Segmentación y generación de la malla

Supone la elección de las partes específicas de la anatomía que se desean reconstruir en el modelo tridimensional. Se puede llevar a cabo utilizando aplicaciones comerciales como: Materialise Mimics (Materialise NV, Lovaina, Bélgica), o utilizando software de código abierto como Horos (Proyecto Horos, Annapolis, MD, EE. UU.), Invesalius (Centro de Tecnología de la Información Renato Archer, Campinas, SP, Brasil), o 3D-Slicer (BWH Cambridge, MA, EE. UU.).<sup>5</sup>

Una vez completado el proceso de segmentación, se procede a la transformación de los elementos volumétricos, conocidos como vóxeles, en un modelo compuesto por triángulos, dando forma, a una estructura, en forma de malla. Dicho modelo se almacena en un formato de archivo conocido como STL (Lenguaje Estándar de Triángulos o Lenguaje Estándar de

Teselación). Este archivo contiene información sobre la superficie del volumen, pero no incluye detalles como el color, propiedades físicas o texturas.

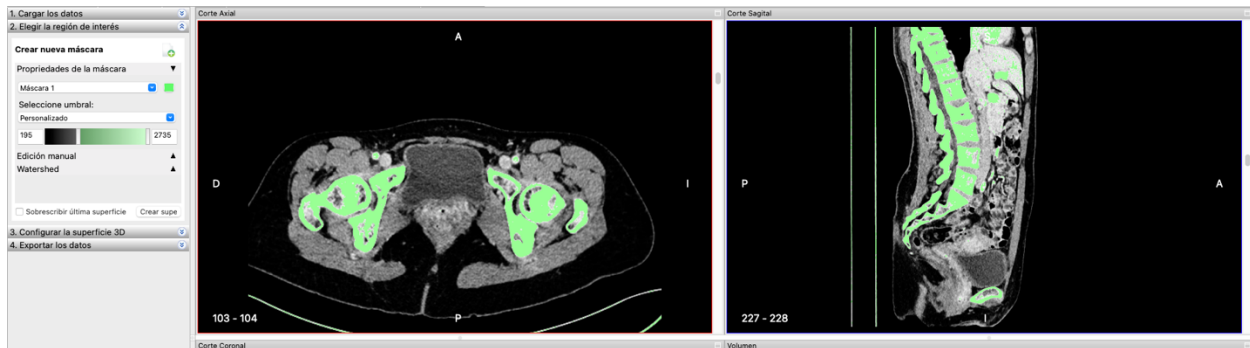


Figura 1. Segmentación automática por medio de la herramienta umbral del software InVesalius. Se ha seleccionado un rango de unidades Hounsfield de entre 195 y 2735 UH.

### 3) Procesado de la malla

En la mayoría de las situaciones, la malla de triángulos resultante suele requerir algún tipo de ajuste o procedimiento para eliminar posibles fallos y elementos no deseados. Es crucial llevar a cabo una comparación minuciosa entre el modelo STL generado y la anatomía real del paciente, con el fin de evitar que se produzcan distorsiones que alteren la realidad.

De acuerdo con Andrés-Cano et al., las 5 fases del procesado de la imagen 3D médica son<sup>5</sup>:

- **Corrección de la malla:** Ya que hay zonas de hueso con niveles más altos de osteoporosis, es posible que surjan imperfecciones que necesiten ser reparadas o rellenadas.
- **Cerrar los extremos del modelo**
- **Optimizar estructuras internas:** En situaciones donde la parte externa del modelo tenga relevancia clínica. Esto contribuye a acelerar el proceso de impresión y reducirá los posibles errores durante el mismo.
- **Suavizar artefactos**

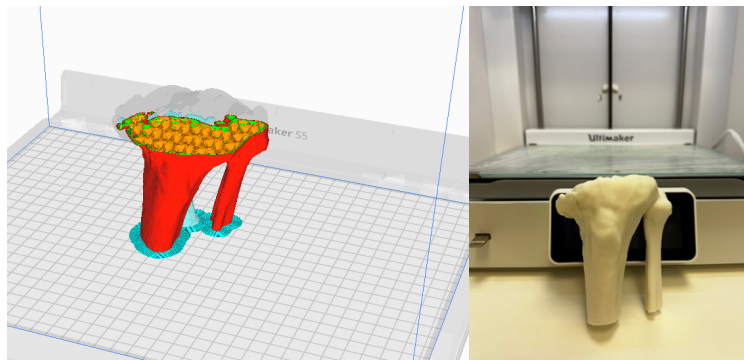
- **Modificaciones del modelo:** Cualquier acción, que altere el modelo original, mediante la adición o eliminación de estructuras. Hay ocasiones, en las que también se añaden soportes o estructuras, diseñadas para mantener cohesionadas las áreas óseas (articulaciones, por ejemplo).



*Figura 2. Modificación de la estructura original de tibia y peroné por medio de la incorporación en la fase de procesado de un cilindro en la base para mantenerlos unidos, así como del número de historia del paciente.*

#### 4) Impresión 3D

Consta de dos componentes de igual relevancia. En primer lugar, la preparación y conversión del modelo 3D, que ha sido segmentado en formato STL en el paso previo, a un archivo GCODE (un lenguaje comprensible por las máquinas) para permitir que la impresora materialice físicamente el modelo deseado. Para lograr esto, el modelo debe ser importado a un software que se encargará de dividirlo en capas individuales, proceso conocido como "laminado", las cuales serán fabricadas por la impresora de manera sucesiva.



*Figura 3. Laminado y preparación del objeto 3D a un archivo GCode (izquierda) que pueda materializarse en un modelo 3D físico (derecha).*

## 1.2. Tipos de impresoras 3D

Se pueden identificar tres categorías en la fabricación de modelos. Estas son:

- **Fabricación sustractiva:** Parte de un bloque de material del cual se van eliminando partes, llegando a la geometría deseada.
- **Fabricación conformativa:** Se emplean moldes en los cuales se introduce o se comprime un material para lograr la forma deseada.
- **Fabricación aditiva:** Consiste en la adición de material para construir la estructura deseada.

Para optimizar el uso de material y el tiempo de producción, en la fabricación aditiva siempre que se pueda, se emplean estructuras esencialmente vacías. Estas estructuras constan de una capa exterior (pared) y un relleno (*infill*) que generalmente representa aproximadamente el 20% del volumen total, dejando vacío, el 80% restante de la estructura.

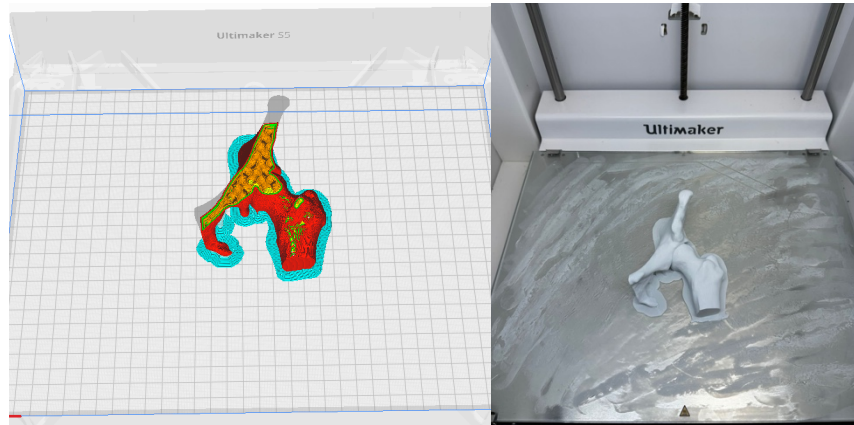


Figura 4. Modelo de una cadera con relleno giroide 10%

Todas estas tecnologías, se clasifican de acuerdo a la norma ISO/ASTM 52900 en los siguientes 7 tipos, aunque los dos primeros son los más empleados, por lo que será en los que nos centraremos:<sup>6</sup>

- Fotopolimerización de tanque
- Impresión por extrusión de material
- Deposición directa de energía
- Fusión por lecho de polvo
- Inyección de material (*material jetting*)
- Inyección aglutinante (*binder jetting*)
- Laminación de hojas

### 1.2.1. Fotopolimerización en tanque

Comenzamos con una resina líquida compuesta por un fotopolímero, una sustancia artificial cuyas propiedades se transforman mediante la exposición a la luz, provocando una solidificación irreversible (curación). La fuente de luz puede variar e incluir un láser (SLA - estereolitografía), un proyector (DLP - Procesamiento Digital de Luz), o incluso oxígeno junto con diodos emisores de luz.<sup>7</sup> Entre estas alternativas, la estereolitografía destaca como una de las opciones más recurrentemente utilizadas en la impresión 3D en el ámbito de la traumatología.

### 1.2.2. Impresión por extrusión de material

Esta tecnología se conoce como FDM, que significa Modelado por Deposición Fundida, y representa uno de los métodos de impresión más ampliamente disponible y económico. En este enfoque, la impresión se logra al extruir un material semifundido y sólido mediante una boquilla, que reproduce cada capa bidimensional del objeto.<sup>8</sup> Las temperaturas de impresión en estas impresoras pueden variar, aunque suelen estar por encima de los 200°C. Por lo general, se empieza imprimiendo los contornos exteriores (las paredes) que luego se rellenan siguiendo un patrón predeterminado.

En este proceso, se emplean a menudo termoplásticos como el PLA (ácido poliláctico), o el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno). Estos materiales se encuentran normalmente disponibles en forma de filamentos con diversos diámetros.

#### *PLA (Ácido Poliláctico)*

Es uno de los más empleados en aplicaciones médicas. Viene del ácido láctico y destaca por su biocompatibilidad y sus propiedades físicas, que permiten que la impresión sea bastante ágil.<sup>9</sup> Este proceso se hace a tan solo 200 - 220°C, de manera que se facilita la extrusión y previene deformaciones provocadas por el enfriamiento tan rápido que se produce tras la impresión.<sup>10</sup>

#### *ABS (Acrilnitrilo Butadieno Estireno)*

Este material es un termoplástico con propiedades mecánicas superiores al PLA que aporta más resistencia a la pieza. Pero requiere una temperatura de impresión de 250°C, por lo que es más propenso a deformarse durante la misma. Del mismo modo, necesita una superficie de impresión caliente (90°C). Cabe destacar que, los gases que se generan durante el proceso son considerados tóxicos, por lo que requiere buena ventilación.



### 1.3. Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía ortopédica de cadera hasta el 31 de diciembre de 2021

1.	Planificación quirúrgica de osteotomía periacetabular en la displasia del desarrollo de cadera <sup>11,12</sup>
2.	Osteosíntesis de fracturas intracapsulares de cadera Garden I y II con tornillos canulados a través de una guía quirúrgica percutánea <sup>13</sup>
3.	Obtención de injerto de cabeza femoral en la reosteosíntesis mediante clavo femoral cérvico-cefálico <sup>14</sup>
4.	Guías de corte paciente-específicas en la osteotomía periacetabular para la displasia del desarrollo de la cadera <sup>15</sup>
5.	Guías de corte y plantillas para la rotación paciente-específicas en la osteotomía periacetabular para la displasia del desarrollo de la cadera <sup>16</sup>
6.	Planificación quirúrgica de la reducción coxo-femoral tras la osteotomía de la cabeza femoral en la necrosis avascular de la cadera <sup>17</sup>
7.	Guía quirúrgica para la osteotomía femoral varizante, desrotadora y de acortamiento en la displasia del desarrollo de la cadera <sup>18,19</sup>
8.	Osteotomía femoral valguzante en la coxa vara congénita severa (Shepherd's Crook) según técnica de Pauwell con guías quirúrgicas a medida <sup>20,21</sup>
9.	Osteotomía femoral proximal para el tratamiento de deformidades complejas mediante guía quirúrgica a medida y reducción indirecta con placa de ángulo fijo <sup>22</sup>
10.	Fresado del componente acetabular con guía quirúrgica a medida para la artroplastia total de cadera primaria. Método del anillo de posicionamiento en secuela de displasia de cadera <sup>23</sup>
11.	Fresado del componente acetabular con guía quirúrgica a medida para la artroplastia total de cadera primaria. Método de la corona de agujas <sup>24-27</sup>
12.	Fresado del componente acetabular con guía quirúrgica a medida para la artroplastia total de cadera primaria. Método de la aguja en el centro del acetábulo <sup>26-28</sup>
13.	Guía quirúrgica para la osteotomía del cuello femoral en la artroplastia total de cadera primaria <sup>29,30</sup>
14.	Formación de residentes de cirugía ortopédica en artroplastia total de cadera por medio de biomodelos impresos en 3D <sup>31,32</sup>
15.	Planificación de la artroplastia total de cadera en las secuelas de fracturas acetabulares <sup>33</sup>
16.	Planificación y simulación quirúrgica de la artroplastia de revisión de la cadera <sup>34-37</sup>
17.	Planificación de la reducción cerrada y osteosíntesis percutánea de las fracturas del macizo trocántero <sup>38</sup>
18.	Dispositivo para evitar la introducción excesiva de la broca durante la perforación cortical <sup>39</sup>
19.	Planificación y moldeado de placa en fractura periimplante de fémur proximal sobre artrodesis de cadera <sup>40</sup>
20.	Planificación quirúrgica de osteotomía femoral proximal en la displasia de cadera <sup>41</sup>
21.	Planificación quirúrgica de osteotomía femoral proximal triplanar en la epifisiolisis femoral proximal <sup>42</sup>
22.	Osteotomía femoral de acortamiento en "Z" para la artroplastia de cadera en secuelas de displasia del desarrollo de la cadera mediante guía quirúrgica específica <sup>27</sup>
23.	Planificación de la resección del impingement femoroacetabular por medio de la impresión de modelos anatómicos en 3D <sup>43</sup>
24.	Resección del impingement femoroacetabular tipo CAM por medio de guía quirúrgica a medida <sup>44</sup>
25.	Osteosíntesis femoral mediante enclavado en fracturas atípicas con deformidad ósea <sup>45</sup>
26.	Osteosíntesis de fracturas femorales atípicas incompletas con placas bloqueadas preconformadas <sup>46</sup>
27.	Osteosíntesis femoral mínimamente invasiva mediante guías quirúrgicas a medida impresas en 3D <sup>47</sup>
28.	Resección tumoral intercalar y aporte de injerto en los tumores malignos de huesos largos con guía quirúrgica a medida impresa en 3D <sup>48-51</sup>
29.	Resección tumoral hemicortical en la metáfisis del fémur distal con guías quirúrgicas a medida <sup>52</sup>
30.	Planificación del tratamiento y docencia de sarcomas de partes blandas del muslo mediante modelos impresos en 3D <sup>53</sup>

Figura 5. Tabla resumen de las aplicaciones hasta el 31 de diciembre de 2021 en impresión 3D en cadera para cirugía ortopédica<sup>54</sup>

## 1.4. Objetivos

Este trabajo tiene como finalidad llevar a cabo una revisión sistemática de todas las aplicaciones actuales en cadera en la tecnología de fabricación 3D intrahospitalaria (*in-house*) en el campo de la cirugía ortopédica y traumatología desde el 1 de enero de 2022 al 30 de septiembre de 2023.

## 2. Métodos

### 2.1. Revisión sistemática

Para lograr el objetivo, se realizó una búsqueda y revisión sistemática de los documentos recopilados en la base de datos MEDLINE a través de PubMed<sup>55</sup>, así como en la tesis doctoral '*Impresión 3D en Cirugía Ortopédica y Traumatología. Revisión sistemática de su aplicabilidad y estudio de los métodos de esterilización más adecuados para la utilización en quirófanos de las impresiones realizadas en el hospital*' de Ignacio Aguado Maestro. La búsqueda comprendió los periodos desde el 1 de enero de 2022 al 30 de septiembre de 2023.

Los términos de búsqueda empleados en PubMed fueron los siguientes:

**3D printing AND (orthopedics OR traumatology) NOT tissue engineering NOT scaffold NOT in vitro**

Después de revisar los resúmenes de los artículos, procedí a seleccionarlos teniendo en cuenta los siguientes **criterios de inclusión**:

- Artículos en inglés o español.
- Disponibilidad del artículo completo (PDF-texto completo).
- Incluidos en aplicaciones de impresión 3D en el ámbito de cirugía ortopédica y traumatología.

Por otro lado, se aplicaron los siguientes **criterios de exclusión**:

- Artículos publicados en un idioma distinto al inglés o español.

- Imposibilidad de acceder al artículo completo.
- Artículos que se enfocan en experimentación animal o en la práctica veterinaria.
- Artículos que no están relacionados con cirugía ortopédica o traumatología.
- Aplicaciones ya mencionadas en el punto 1.3.
- Estudios experimentales que no involucran seres humanos o que se realizan en cadáveres.
- Estudios relacionados con terapia celular o ingeniería de tejidos.
- Artículos relacionados con el uso de prótesis o implantes personalizados, manufactura industrial, ortesis o navegación.
- Artículos basados en flujos de impresión 3D desarrollados completamente fuera de las instalaciones hospitalarias.

Después de llevar a cabo la selección de los artículos, cada uno de ellos se descargó en formato PDF (texto completo) y se incorporó a biblioteca en Zotero. A continuación, se procedió a categorizar los artículos en función de su contenido, asignándolos en distintas categorías.

## 3. Resultados

### 3.1. Revisión sistemática

La búsqueda de PubMed mostró un total de 558 estudios.

- 90 fueron eliminados porque estaban en otro idioma (la mayoría en chino y en alemán)
- 135 eran sobre productos implantables a medida (prótesis, injertos o implantes)
- 328 por no tratar sobre el objetivo del estudio o tratarse de artículos de revisión sobre otros artículos ya incluidos en el trabajo.
- 5 artículos se incluyeron finalmente en el trabajo

Los 5 artículos describieron un total de 5 aplicaciones que se organizaron a modo de fichas, siguiendo la siguiente estructura:

- **Localización:** Establecimiento de la región anatómica de interés.
- **Sección:** Ortopedia, traumatología, ortopedia infantil, oncología.
- **Categoría:** Prefabricación de implantes, planificación quirúrgica, guías quirúrgicas personalizadas, educación y formación o instrumental quirúrgico.

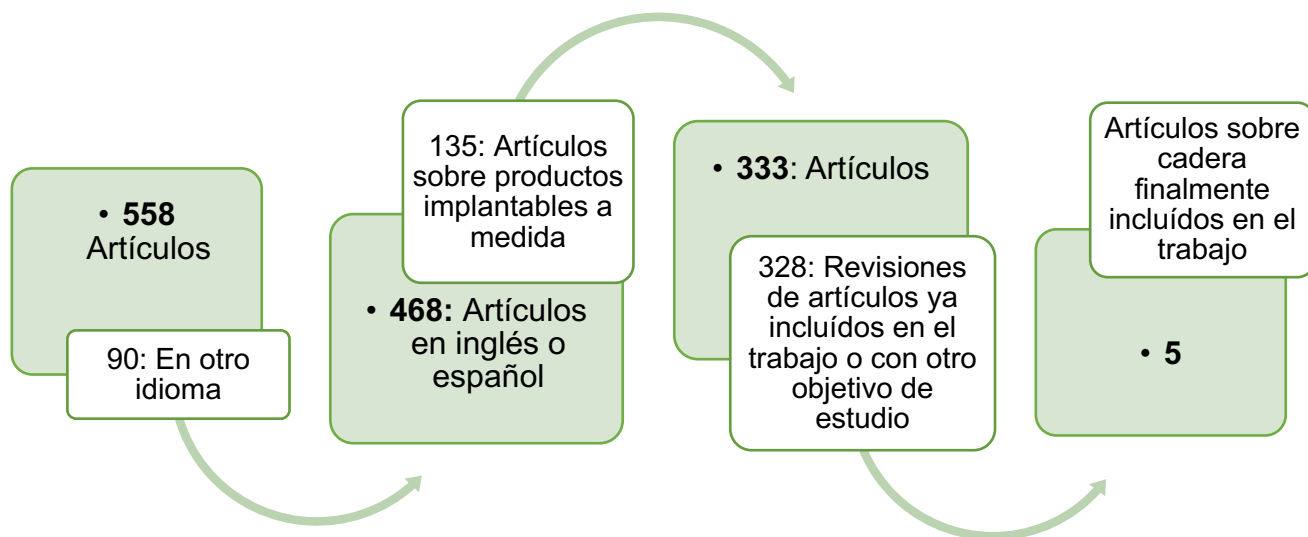
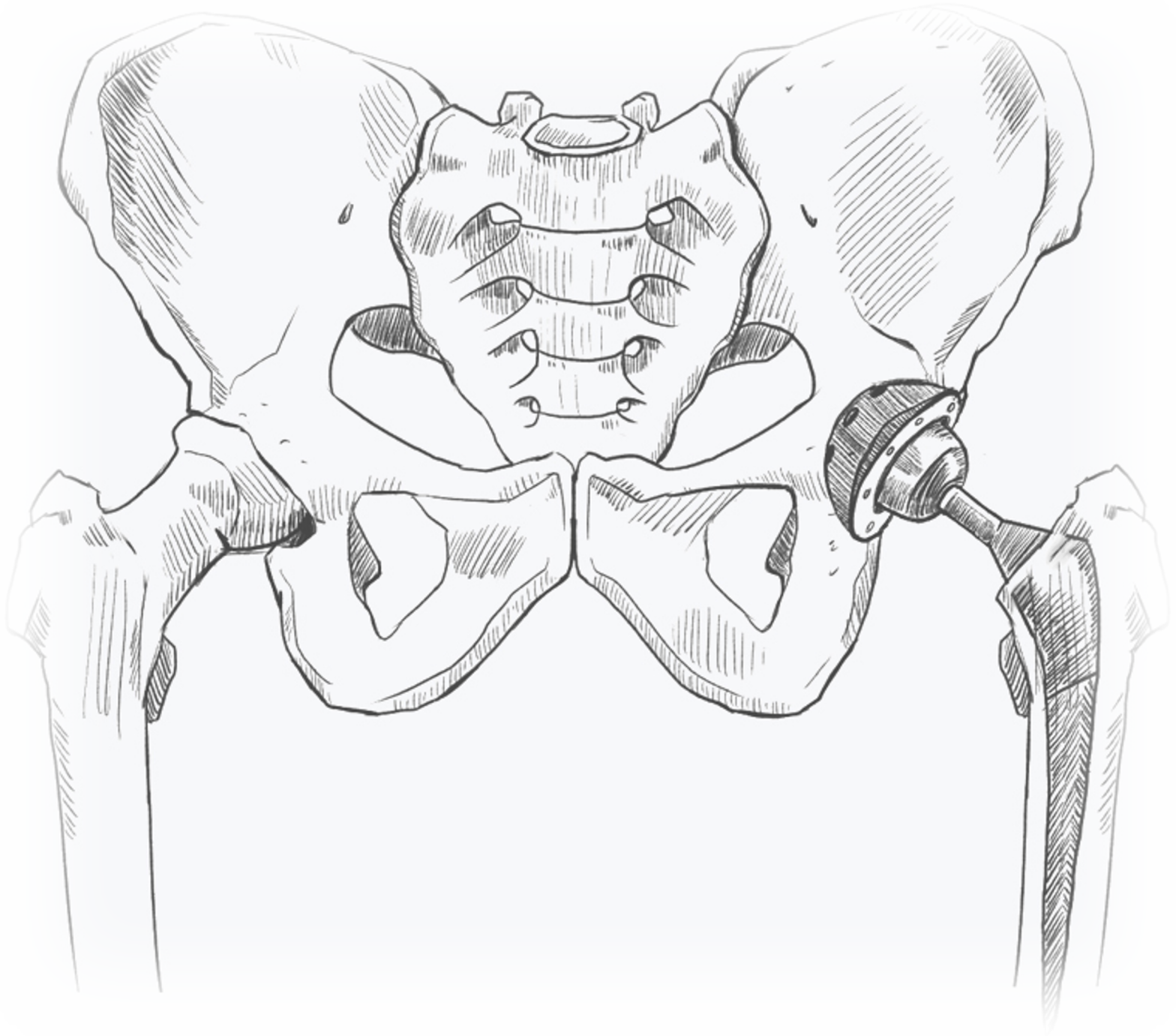


Figura 6. Diagrama de elegibilidad de los artículos incluidos en la actualización

### 3.2. Aplicaciones de la impresión 3D en cadera



<b>LOCALIZACIÓN</b>	Cadera
<b>SECCIÓN</b>	Ortopedia
<b>CATEGORÍA</b>	Planificación quirúrgica
<b>Simulador impreso en tres dimensiones (3D) como herramienta de evaluación de las habilidades en artroscopia de cadera.</b> <sup>56</sup>	
<b>Adquisición de imagen</b>	TAC, grosor de corte 0,35mm
<b>Segmentación</b>	InVesalius 3.1.1
<b>Procesado</b>	Meshmixer 3.5
<b>Impresión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impresora <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D EOS Formiga P100 y Stratasys J750</li> </ul> </li> <li>• Material <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poliamida blanca y VeroPureWhite, VeroCyanV, VeroMagentaV, VeroYell y Agilus</li> </ul> </li> </ul>

Durante la segmentación, se eliminan las estructuras óseas innecesarias, conservando solo la espina ilíaca anterosuperior, el acetábulo y el extremo proximal del fémur. Dado que los TC se realizan en decúbito supino, el fémur se reposiciona para simular la cadera en condiciones de tracción y permitir el acceso al compartimento central para la operación simulada. El simulador consta de dos partes principales, un componente blando para simular los tejidos blandos y un componente duro para simular estructuras óseas. El marco estructural de la espina ilíaca anterosuperior, el acetábulo y el extremo proximal del fémur se diseñan como módulos independientes. La cápsula de la articulación de cadera se diseña con forma de gota de agua, aumentando gradualmente desde la cabeza femoral hasta el acetábulo. Dado que el *labrum* acetabular no puede definirse con claridad en la TC, se diseña manualmente con un grosor de 3-4 mm y un ancho de aproximadamente 8 mm. Se incorporan nueve marcas fijas en la superficie del acetábulo desde la posición de las 8 en punto hasta las 4 en punto para facilitar la identificación intraarticular de las estructuras anatómicas.

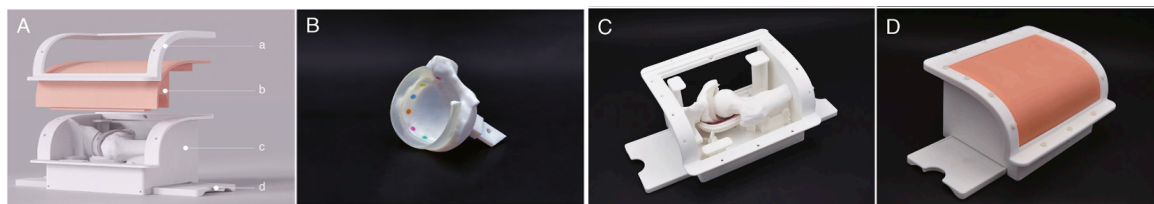
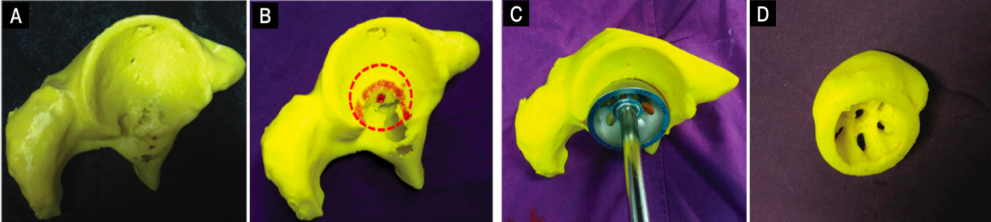
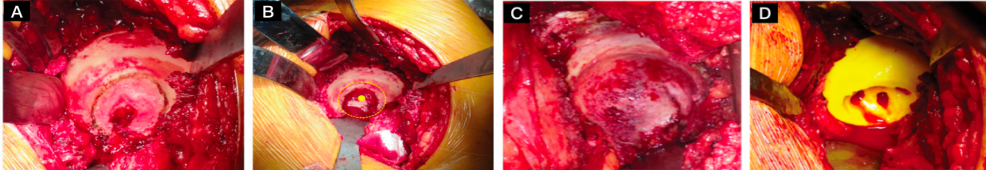


Figura 7. (A) Componentes principales del simulador: (a) Marco de sujeción para fijar al componente blando; (b) Componente blando para simular los tejidos blandos; (c) Contenedor para sostener todas las estructuras óseas y de soporte; (d) Fijación al banco de trabajo. (B) Componente impreso en 3D del acetábulo. (C) Estructuras óseas impresas en 3D del simulador. (D) Simulador ensamblado con el componente de silicona.

<b>LOCALIZACIÓN</b>	Cadera
<b>SECCIÓN</b>	Ortopedia
<b>CATEGORÍA</b>	Guía quirúrgica
<b>Medición de áreas de defecto óseo, en pacientes con displasia del desarrollo de la cadera.<sup>57</sup></b>	
<b>Adquisición de imagen</b>	TAC
<b>Segmentación</b>	Mimics 10.01
<b>Procesado</b>	Mimics 10.01
<b>Impresión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impresora</li> <li>• Material</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No especifica</li> <li>• Termoplástico no especificado</li> </ul>
<p>Se imprime un modelo del acetábulo del paciente. Para ello, primero se hace una segmentación del acetábulo, el cual posteriormente se lamina en el software de la impresora 3D para llevar a cabo la impresión en un termoplástico. Se realiza una cirugía en la cual se simula el fresado del cotilo, en una prótesis total de cadera. Una vez hecha esta cirugía <i>in vitro</i>, se rellena con cera o cemento, según el caso a tratar, el defecto acetabular restante. Se saca el molde realizado, y de esa manera, se dispone del defecto óseo que le queda al paciente tras el fresado y el resto de los pasos. Por último, se realiza la 'cirugía real'. Se ha demostrado la similitud del defecto simulado <i>in vitro</i> con el defecto real.</p>	
	
<p>Figura 8. (A) Modelo acetabular impreso en 3D. (B) Fresado del cotilo en el modelo acetabular. (C) Simulación del posicionamiento del acetábulo. (D) Cobertura del área de los defectos (rojo) con cemento.</p>	
	
<p>Figura 9. (A) Cirugía en el acetábulo de la cadera afectada. (B) La cirugía reveló el acetábulo pulido. (C) Selección del molde adecuado para acetábulo. (D) Eliminación del modelo de cera que representa el hueso acetabular.</p>	

<b>LOCALIZACIÓN</b>	Cadera
<b>SECCIÓN</b>	Ortopedia
<b>CATEGORÍA</b>	Guía quirúrgica

**Plantilla de navegación de impresión 3D para la osteotomía triple de Tönnis en niños mayores con displasia del desarrollo de la cadera (DDH).<sup>58</sup>**

<b>Adquisición de imagen</b>	TAC grosor de corte 1mm
<b>Segmentación</b>	Mimics 17.0
<b>Procesado</b>	Mimics 17.0
<b>Impresión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impresora</li> <li>• Material</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FusionTech</li> <li>• PLA (ácido poliláctico)</li> </ul>

Los datos preoperatorios de la pelvis y el fémur proximal se adquieren mediante un TAC. Las características anatómicas del acetábulo no afectado se utilizan como estándar para evaluar la deformidad del acetábulo afectado en el modelo pélvico reconstruido en 3D. Al establecer el plano sagital medio como superficie especular, la imagen de la cadera no afectada se refleja en el lado contralateral. El plano de corte óseo simulado de la rama iliopúbica e isquiopubiana superior se simula usando la plantilla de navegación del software Mimics. A continuación, una esfera perfecta simula la cabeza femoral, y esta se toma como centro de rotación. El acetábulo se rota hacia afuera y hacia abajo para permitir que coincida lo máximo posible con los resultados de las imágenes del lado sano. Este modelo de osteotomía de rotación se importa al software 3-MATIC. Se utiliza una *operación booleana* para adquirir la morfología de la superficie de la cresta ilíaca, y se crea una superficie en la dirección opuesta de 3 mm. Las dos partes del puente de la plantilla de navegación se utilizan como sustrato de conexión. Por último, se construye el modelo de plantilla de navegación en 3D, cuya preparación lleva aproximadamente 8 horas.

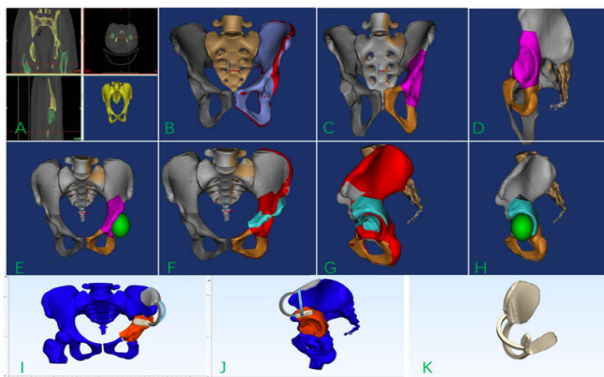


Figura 10. Diseño y aplicación de la plantilla de navegación personalizada. (A) Los datos de la pelvis se importaron al software Mimics para la reconstrucción en 3D. (B) La imagen de la cadera no afectada se reflejó en el lado contralateral con la vista positiva de una esfera perfecta como la cabeza femoral. (F-H) La imagen del acetábulo no afectado se rotó para que coincidiera lo más posible con la imagen reflejada. (I, K) La plantilla de navegación, diseñada en el software 3-MATIC y exportada en formato STL para su laminado e impresión



<b>LOCALIZACIÓN</b>	Cadera
<b>SECCIÓN</b>	Ortopedia
<b>CATEGORÍA</b>	Guía quirúrgica
<b>Guías individualizadas impresas en 3D para artroplastia total de cadera en displasia del desarrollo de tipo Crowe IV de la cadera<sup>27</sup></b>	
<b>Adquisición de imagen</b>	TAC grosor de corte 0,625 mm
<b>Segmentación</b>	Mimics 14.0
<b>Procesado</b>	Imageware 12.0
<b>Impresión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impresora</li> <li>• Material</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eden 250, SLA 5000</li> <li>• Resina</li> </ul>

A través de la función de espejo, se establece la imagen especular del acetábulo contralateral, lo que permite localizar la posición del acetábulo real del lado afectado. En función de esta posición, se puede elegir el tamaño adecuado del componente acetabular y simular la implantación del cotilo protésico, asegurando que esté suficientemente cubierto de hueso. Se diseña una guía con una corona circular de chimeneas para posicionar las agujas Kirschner que sirven de orientación para el fresado acetabular, con 45° de inclinación y 15° de anteversión. Luego, se insertan las agujas Kirschner en las chimeneas de la plantilla. En cuanto a la plantilla de resección femoral, su margen superior se alinea con el margen inferior del trocánter menor. La longitud de la resección femoral se determina mediante simulación repetida, logrando una longitud igual en ambas extremidades inferiores.

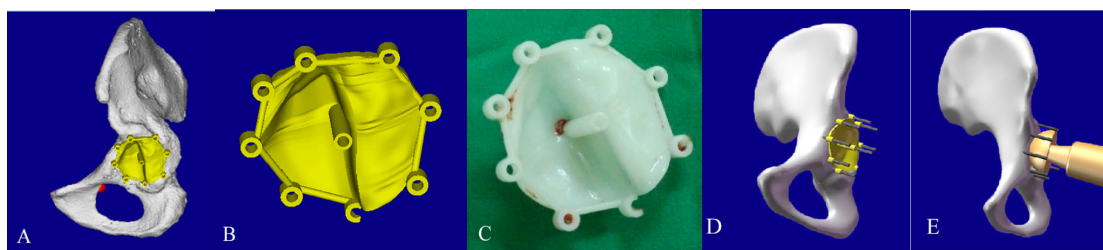


Figura 11. (A) Las plantillas de guía CAD son complementarias a la superficie de colocación acetabular predeterminada, con un poste guía circular de 45° de eversion y 15° de anteversión. (B) Plantilla de guía diseñada. (C) Plantillas de guía impresas en 3D utilizando resina fotosensible como material crudo. (D) Se insertaron agujas de Kirschner en el agujero de la plantilla. (E) La fresa se mantiene paralela a la serie de agujas de Kirschner alrededor del margen acetabular.

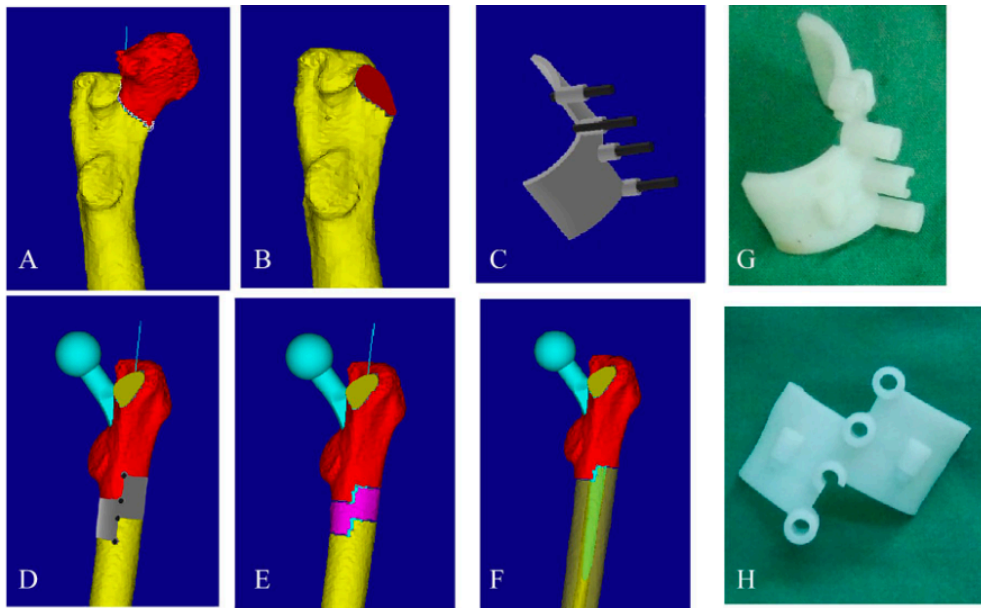


Figura 12. (A) Osteotomía simulada del cuello femoral. (B) Resultados de la osteotomía simulada. (C) Diseño de plantilla de osteotomía en forma de Z. (D)–(F) Simulación de osteotomía en forma de Z proximal e implantación de prótesis femoral. (G) y (H) Las plantillas de guía de osteotomía femoral de impresión 3D se fabricaron a partir de resina fotosensible utilizando una impresora de estereolitografía láser 3D.

<b>LOCALIZACIÓN</b>	Cadera
<b>SECCIÓN</b>	Ortopedia
<b>CATEGORÍA</b>	Guía quirúrgica
<b>Planificación mediante simulación con modelos 3D de la restauración del centro de rotación en la artroplastia total de cadera en pacientes con displasia del desarrollo de la cadera<sup>59</sup></b>	
<b>Adquisición de imagen</b>	TAC
<b>Segmentación</b>	No específica
<b>Procesado</b>	No específica
<b>Impresión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impresora <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arigin 3DM400</li> </ul> </li> <li>• Material <ul style="list-style-type: none"> <li>• PLA (Ácido poliláctico)</li> </ul> </li> </ul>

Dado que la fosa de Harris está cubierta de osteofitos, se restaura su morfología mediante la eliminación de los osteofitos. Se reconocen las muescas acetabulares anterior y posterior y se marca la bisectriz perpendicular de la línea de las muescas acetabular anterior y posterior. El centro acetabular está ubicado entre 25 y 31 mm (media 28,7 mm, dependiendo del tamaño del acetábulo) por encima del punto de intersección de la bisectriz perpendicular y la línea de las muescas anterior y posterior del acetábulo, lo que también puede ser localizado mediante nuestro localizador del centro acetabular de desarrollo propio. Durante el proceso de fresado acetabular, la anteversión se controla en el rango de  $15^{\circ} \pm 10^{\circ}$ , mientras que la inclinación es de  $40^{\circ} \pm 10^{\circ}$ . Hay que reconocer las muescas acetabulares anterior y posterior, y marcar la línea bisectriz perpendicular a las mismas. El fresado se realiza en círculos concéntricos de menor a mayor, apuntando al centro del acetábulo. El tamaño final del fresado se determina por el criterio de que la pared anterior y posterior tengan suficiente fuerza de sujeción para obtener una buena estabilidad inicial del cotilo de prueba.

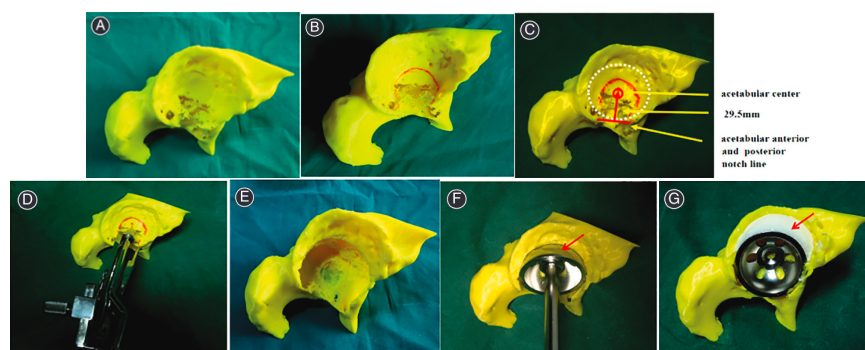


Figura 13. Operación simulada en el modelo de impresión 3D. (A) Modelo de impresión 3D. (B) Reconocimiento y restauración la fosa de Harris. (C) Localización del centro del acetábulo. (D) Localización del centro del acetábulo mediante el localizador del centro acetabular (ACL). (E) Escariado del acetábulo. (F) Instalación de la copa acetabular. (G) Relleno y medición del defecto óseo con cera ósea.

## 4. Discusión

En la última década, la impresión 3D ha emergido como una tecnología revolucionaria en el campo de la traumatología, transformando la forma en que los médicos abordan las lesiones óseas y articulares. Esta innovación ha llevado la atención médica a un nivel completamente nuevo, permitiendo una personalización sin precedentes en el diseño y la fabricación de implantes y dispositivos médicos.

Se ha demostrado que el simulador impreso en 3D puede replicar pasos críticos en la artroscopia de cadera, por lo que existe un gran potencial para que esta herramienta se utilice de forma rutinaria para ayudar en el aprendizaje y la práctica de habilidades artroscópicas de cadera. Esto puede ayudar a los cirujanos artroscópicos a optimizar la eficiencia de su aprendizaje.<sup>56</sup> Además, el simulador impreso en 3D se puede utilizar para formación preliminar, cursos de actualización y simulación de escenarios complejos antes de cirugías reales, lo que a su vez mitigaría el riesgo de errores médicos en el quirófano y mejoraría así la seguridad del paciente.

Por otro lado, para los pacientes con DDC (Displasia del Desarrollo de la Cadera), la tecnología de impresión 3D puede ayudar en la planificación preoperatoria, mejorar la tasa de éxito de la operación y reducir la pérdida de sangre intraoperatoria y las complicaciones postoperatorias midiendo preoperatoriamente el tamaño y la dirección de los implantes. Se demostró que el tiempo de operación y la pérdida de sangrado fueron significativamente mejores que en la cirugía convencional. Académicos chinos han propuesto que la tecnología de impresión 3D desempeña un papel vital en pacientes adultos con DDC y artroplastia total de cadera.<sup>57</sup>

La triple osteotomía pélvica de Tönnis indica resultados satisfactorios, previniendo así la aparición de osteoartritis de cadera. Sin embargo, el seguimiento a largo plazo revela que alrededor del 32% de los pacientes requieren artroplastia total de cadera. Esto se debe en parte a la patología de la enfermedad en sí y a la capacidad de rotar con precisión el acetábulo después de la osteotomía, lo que también puede influir en los resultados a largo plazo. Sólo después de un entrenamiento a largo plazo y una operación práctica se puede reducir gradualmente la incidencia de complicaciones postoperatorias.<sup>58</sup> En los últimos años, con la popularización de la impresión 3D en la cirugía ortopédica, el tratamiento personalizado ha atraído cada vez más la atención de los ortopedistas. Estos, basándose en TC y RM 3D, pueden utilizar la impresión 3D

para construir un modelo acetabular 3D para formular un plan personalizado para la osteotomía acetabular. Las plantillas de navegación impresas en 3D se han utilizado ampliamente en ortopedia de adultos. Sin embargo, existen pocas aplicaciones reportadas en trastornos ortopédicos pediátricos.

El remplazo total de cadera es el tratamiento más eficaz y definitivo para la DDC tipo IV de Crowe con artrosis. En la actualidad, la mayoría de los académicos, defienden que la prótesis acetabular debe colocarse en el acetábulo original en lugar de desplazarse hacia arriba, creyendo que el desplazamiento anterior puede reducir la tensión anormal de la cadera y restaurar el centro de rotación y el desplazamiento femoral. La reconstrucción acetabular en el acetábulo original beneficia la recuperación de la biomecánica de la cadera, reduce el estrés y disminuye la tasa de aflojamiento protésico y la abrasión del polietileno, lo que conduce a una estabilidad a largo plazo de la prótesis. Por lo tanto, se considera que la prótesis en el acetábulo original es beneficiosa para recuperar la igualdad de longitud de los miembros inferiores y la estabilidad de la prótesis a largo plazo.<sup>27</sup>

Hasta día de hoy, todavía falta un método simple, intuitivo y operable para localizar el centro de rotación de la cadera durante una operación. Por ello, Zhang et al. han desarrollado un nuevo método para restaurar el centro de rotación de manera exacta y sencilla mediante el reconocimiento y la restauración de la fosa de Harris y las muescas acetabulares, que pueden usarse para localizar el centro acetabular, con la ayuda de la simulación en modelos impresos en 3D. Las operaciones simuladas con impresión 3D mejoran la precisión y seguridad de las cirugías ortopédicas. Se ha demostrado que la tecnología de impresión 3D aumenta la previsibilidad, precisión y confiabilidad de la reducción de las fracturas acetabulares.<sup>59</sup>

## 5. Conclusiones

Dentro del ámbito de la traumatología y ortopedia, existe una amplia gama de posibles aplicaciones quirúrgicas de la tecnología de impresión 3D. Estas posibilidades están limitadas únicamente por las regulaciones específicas de cada territorio y la creatividad de los profesionales en traumatología e ingeniería. Sin embargo, es evidente que en la revisión sistemática existe una carencia de evidencia sólida en cuanto a estas aplicaciones, lo que resalta la importancia de la realización de futuros estudios prospectivos y aleatorizados. Estos estudios

podrían contribuir significativamente a definir con mayor precisión las ventajas que la impresión 3D puede ofrecer en diversas indicaciones dentro de la traumatología y ortopedia.

## 6. Agradecimientos

Este Trabajo de Fin de Grado representa el resultado de un esfuerzo conjunto y refleja la culminación de una etapa muy importante en mi formación académica. A cada uno de los que a continuación mencionaré, les estoy profundamente agradecida por su apoyo y contribución a este proyecto.

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor de TFG, Ignacio Aguado Maestro, por su orientación, apoyo y consejos a lo largo de toda la realización del mismo. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para dar forma a este trabajo y llevarlo a buen puerto.

No puedo dejar de mencionar a mi familia y gente más cercana, quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de este viaje académico. En especial a mi padrino, Carlitos, si no hubiera sido por él, no estaría a día de hoy estudiando medicina en la UVA, su experiencia, sus vivencias, y sus buenos consejos aportados desde el cariño y el corazón, no me hubieran traído hasta aquí. Algo de lo que siempre le estaré agradecida, pues tomar decisiones en una carrera de fondo como es medicina, no es nada fácil.

A mis padres, mi hermano y Alejandro, sin vosotros este camino no hubiera sido tan sencillo, gracias por no dejarme caer y estar ahí, para que siempre continuara para adelante. Gracias a ellos, que fueron el empujón que necesitaba en los momentos de mayor exigencia, y lo que hoy me ha hecho llegar hasta donde estoy. Os estaré eternamente agradecida.

## 7. Bibliografía

1. Wang C, Huang W, Zhou Y, et al. 3D printing of bone tissue engineering scaffolds. *Bioact Mater* 2020;5(1):82–91.
2. Whitaker M. The history of 3D printing in healthcare. *Bull R Coll Surg Engl* 2014;96(7):228–9.
3. Ejnisman L, Gobbato B, de França Camargo AF, Zancul E. Three-Dimensional Printing in Orthopedics: from the Basics to Surgical Applications. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2021;14(1):1–8.
4. Chen SA, Ong CS, Hibino N, Baschat AA, Garcia JR, Miller JL. 3D printing of fetal heart using 3D ultrasound imaging data. *Ultrasound Obstet Gynecol Off J Int Soc Ultrasound Obstet Gynecol* 2018;52(6):808–9.
5. Andrés-Cano P, Calvo-Haro JA, Fillat-Gomà F, Andrés-Cano I, Perez-Mañanes R. Role of the orthopaedic surgeon in 3D printing: current applications and legal issues for a personalized medicine. *Rev Espanola Cirugia Ortop Traumatol Engl Ed* 2021;65(2):138–51.
6. International Organization for Standardization. ISO/ASTM 52900 Additive manufacturing — General

principles — Fundamentals and vocabulary. Geneva: ISO; 2021.

7. Pagac M, Hajnys J, Ma Q-P, et al. A Review of Vat Photopolymerization Technology: Materials, Applications, Challenges, and Future Trends of 3D Printing. *Polymers* 2021;13(4):598.
8. Vyavahare S, Teraiya S, Panghal D, Kumar S. Fused deposition modelling: a review. *Rapid Prototyp J* 2020;26(1):176–201.
9. Khorsandi D, Fahimipour A, Abasian P, et al. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta Biomater* 2021;122:26–49.
10. Al-Rubaiai M, Pinto T, Qian C, Tan X. Soft Actuators with Stiffness and Shape Modulation Using 3D-Printed Conductive Polylactic Acid Material. *Soft Robot* 2019;6(3):318–32.
11. Holt AM, Starosolski Z, Kan JH, Rosenfeld SB. Rapid Prototyping 3D Model in Treatment of Pediatric Hip Dysplasia: A Case Report. *Iowa Orthop J* 2017;37:157–62.
12. Shelton TJ, Monazzam S, Calafi A, Leshikar HB, Haus BM. Preoperative 3D Modeling and Printing for Guiding Periacetabular Osteotomy. *J Pediatr Orthop* 2021;41(3):149–58.
13. Long C, Liu J-H, Chai X-P, Liu X-F, Duan Z-X. A Novel 3D-Printed Device for Precise Percutaneous Placement of Cannulated Compression Screws in Human Femoral Neck Fractures. *BioMed Res Int* 2021;2021:1308805.
14. Lv H, Zhang L, Yang F, et al. A novel 3D-printed device for localization and extraction of trabeculae from human femoral heads: a comparison with traditional visual extraction. *Osteoporos Int J Establ Result Coop Eur Found Osteoporos Natl Osteoporos Found USA* 2015;26(6):1791–9.
15. Brumat P, Mihalič R, Benulič Č, Kristan A, Trebše R. Patient-specific template and electromagnetic navigation assisted bilateral periacetabular osteotomy for staged correction of bilateral injury-induced hip dysplasia: a case report. *J Hip Preserv Surg* 2021;8(2):192–6.
16. Wang X, Liu S, Peng J, et al. Development of a novel customized cutting and rotating template for Bernese periacetabular osteotomy. *J Orthop Surg* 2019;14(1):217.
17. Kalenderer Ö, Erkuş S, Turgut A, İnan İH. Preoperative planning of femoral head reduction osteotomy using 3D printing model: A report of two cases. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2019;53(3):226–9.
18. Zheng P, Xu P, Yao Q, Tang K, Lou Y. 3D-printed navigation template in proximal femoral osteotomy for older children with developmental dysplasia of the hip. *Sci Rep* 2017;7:44993.
19. Zheng P, Yao Q, Xu P, Wang L. Application of computer-aided design and 3D-printed navigation template in Locking Compression Pediatric Hip Plate(TM) placement for pediatric hip disease. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2017;12(5):865–71.
20. Frizziero L, Santi GM, Leon-Cardenas C, et al. In-House, Fast FDM Prototyping of a Custom Cutting Guide for a Lower-Risk Pediatric Femoral Osteotomy. *Bioeng Basel Switz* 2021;8(6).
21. Wan J, Zhang C, Liu Y-P, He H-B. Surgical treatment for shepherd’s crook deformity in fibrous dysplasia: THERE IS NO BEST, ONLY BETTER. *Int Orthop* 2019;43(3):719–26.
22. Jud L, Vlachopoulos L, Grob K. Correction of complex three-dimensional deformities at the proximal femur using indirect reduction with angle blade plate and patient-specific instruments: a technical note. *J Orthop Surg* 2021;16(1):427.
23. Yan L, Wang P, Zhou H. 3D Printing Navigation Template Used in Total Hip Arthroplasty for Developmental Dysplasia of the Hip. *Indian J Orthop* 2020;54(6):856–62.
24. Small T, Krebs V, Molloy R, Bryan J, Klika AK, Barsoum WK. Comparison of acetabular shell position using patient specific instruments vs. standard surgical instruments: a randomized clinical trial. *J Arthroplasty* 2014;29(5):1030–7.
25. Hananouchi T, Saito M, Koyama T, et al. Tailor-made surgical guide based on rapid prototyping technique for cup insertion in total hip arthroplasty. *Int J Med Robot Comput Assist Surg MRCAS* 2009;5(2):164–9.
26. Sakai T. Patient-Specific Surgical Guide for Total Hip Arthroplasty. *Adv Exp Med Biol* 2018;1093:307–14.
27. Tu Q, Ding H-W, Chen H, et al. Preliminary application of 3D-printed individualised guiding templates for total hip arthroplasty in Crowe type IV developmental dysplasia of the hip. *Hip Int J Clin Exp Res Hip Pathol Ther* 2022;32(3):334–44.
28. Cao L, Wang Y, Zou S, Cheng H. A novel positioner for accurately sitting the acetabular component: a retrospective comparative study. *J Orthop Surg* 2019;14(1):279.
29. Sakai T, Hamada H, Takao M, Murase T, Yoshikawa H, Sugano N. Validation of patient-specific surgical guides for femoral neck cutting in total hip arthroplasty through the anterolateral approach. *Int J Med Robot Comput Assist Surg MRCAS* 2017;13(3).
30. Schneider AK, Pierrepont JW, Hawdon G, McMahon S. Clinical accuracy of a patient-specific femoral osteotomy guide in minimally-invasive posterior hip arthroplasty. *Hip Int J Clin Exp Res Hip Pathol Ther* 2018;28(6):636–41.

31. Girotto MC, Lucena R de L de, Schwartzmann CR, Ungaretti Neto A da S, Introini GO, Spinelli L de F. Use of 3D Printing in Planning the Reconstruction of Total Hip Arthroplasty: A Teaching Tool. *Rev Bras Ortop* 2021;56(6):809–12.
32. Xu J, Li D, Ma R, Barden B, Ding Y. Application of Rapid Prototyping Pelvic Model for Patients with DDH to Facilitate Arthroplasty Planning: A Pilot Study. *J Arthroplasty* 2015;30(11):1963–70.
33. Sánchez-Pérez C, Rodríguez-Lozano G, Rojo-Manaute J, Vaquero-Martín J, Chana-Rodríguez F. 3D surgical printing for preoperative planning of trabecular augments in acetabular fracture sequel. *Injury* 2018;49 Suppl 2:S36–43.
34. Hughes AJ, DeBuitelir C, Soden P, et al. 3D Printing Aids Acetabular Reconstruction in Complex Revision Hip Arthroplasty. *Adv Orthop* 2017;2017:8925050.
35. Kavalerskiy GM, Murylev VY, Rukin YA, Elizarov PM, Lychagin AV, Tselisheva EY. Three-Dimensional Models in Planning of Revision Hip Arthroplasty with Complex Acetabular Defects. *Indian J Orthop* 2018;52(6):625–30.
36. Tserovski S, Georgieva S, Simeonov R, Bigdeli A, Röttinger H, Kinov P. Advantages and disadvantages of 3D printing for pre-operative planning of revision hip surgery. *Journal of surgical case reports*; 2019.
37. Zerr J, Chatzinoff Y, Chopra R, Estrera K, Chhabra A. Three-dimensional printing for preoperative planning of total hip arthroplasty revision: case report. *Skeletal Radiol* 2016;45(10):1431–5.
38. Zheng S-N, Yao Q-Q, Mao F-Y, et al. Application of 3D printing rapid prototyping-assisted percutaneous fixation in the treatment of intertrochanteric fracture. *Exp Ther Med* 2017;14(4):3644–50.
39. Ferràs-Tarragó J, Jordà-Gómez P, Català-de-Las-Marinas J, Antequera-Cano JM, Barrés-Carsí M. A new universal 3D-printable device to prevent excessive drilling in orthopedic surgery. *Eur J Trauma Emerg Surg Off Publ Eur Trauma Soc* 2022;48(5):3887–93.
40. Fang C, Fang B, Wong T-M, Lau T-W, Pun T, Leung F. Fixing a fractured arthrodesed hip with rapid prototype templating and minimal invasive plate osteosynthesis. *Trauma case reports*; 2015.
41. Cao J, Gao C, Sun JH, et al. Effect of 3D Printing Technology in Proximal Femoral Osteotomy in Children with Developmental Dysplasia of the Hip. *Dis Markers* 2022;2022:1291996.
42. Cherkasskiy L, Caffrey JP, Szewczyk AF, et al. Patient-specific 3D models aid planning for triplane proximal femoral osteotomy in slipped capital femoral epiphysis. *J Child Orthop* 2017;11(2):147–53.
43. Wong TT, Lynch TS, Popkin CA, Kazam JK. Preoperative Use of a 3D Printed Model for Femoroacetabular Impingement Surgery and Its Effect on Planned Osteoplasty. *AJR Am J Roentgenol* 2018;211(2):W116–21.
44. Verma T, Mishra A, Agarwal G, Maini L. Application of three dimensional printing in surgery for cam type of femoro-acetabular impingement. *Journal of clinical orthopaedics and trauma*; 2018.
45. Park JH, Lee Y, Shon O-J, Shon HC, Kim JW. Surgical tips of intramedullary nailing in severely bowed femurs in atypical femur fractures: Simulation with 3D printed model. *Injury* 2016;47(6):1318–24.
46. Won H, Baek S-H, Kim C-H, Kim D-H, Yoon J-W, Kim S-Y. Precontoured Plate Fixation for Incomplete Atypical Diaphyseal Fracture of Femur using Three-Dimensional Printing Rapid Prototyping: Two Cases Reports. *Orthopaedic surgery*; 2021.
47. Sun L, Liu H, Xu C, Yan B, Yue H, Wang P. 3D printed navigation template-guided minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis for distal femoral fracture: A retrospective cohort study. *Injury* 2020;51(2):436–42.
48. Gasparro MA, Gusho CA, Obioha OA, Colman MW, Gitelis S, Blank AT. 3D-Printed Cutting Guides for Resection of Long Bone Sarcoma and Intercalary Allograft Reconstruction. *Orthopedics* 2022;45(1):e35–41.
49. Ma L, Zhou Y, Zhu Y, et al. 3D-printed guiding templates for improved osteosarcoma resection. *Sci Rep* 2016;6:23335.
50. McCulloch RA, Frisoni T, Kurunskal V, Maria Donati D, Jeys L. Computer Navigation and 3D Printing in the Surgical Management of Bone Sarcoma. *Cells* 2021;10(2).
51. Wang F, Zhu J, Peng X, Su J. The application of 3D printed surgical guides in resection and reconstruction of malignant bone tumor. *Oncol Lett* 2017;14(4):4581–4.
52. Wu H, Yang S, Liu J, et al. 3D printing guide plate for accurate hemicortical bone tumor resection in metaphysis of distal femoral: a technical note. *J Orthop Surg* 2021;16(1):343.
53. Li L, Zhang K, Wang R, et al. A study of three-dimensional reconstruction and printing models in two cases of soft tissue sarcoma of the thigh. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2021;16(9):1627–36.
54. Ignacio Aguado Maestro. Impresión 3D en Cirugía Ortopédica y Traumatología. Revisión sistemática de su aplicabilidad y estudio de los métodos de esterilización más adecuados para la utilización en quirófanos de las impresiones realizadas en el hospital. 2023;
55. PubMed [Internet]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
56. Cai B, Duan S, Yi J, et al. A three-dimensional (3D) printed simulator as a feasible assessment tool for evaluating hip arthroscopy skills. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA* 2023;31(5):2030–7.



57. Guan J, Wang Z, Zhang Z, et al. 3D PRINTING APPLICATION IN BONE DEFECT AREA MEASUREMENT ON PATIENTS WITH DEVELOPMENTAL DYSPLASIA OF THE HIP. *Acta Ortop Bras* 2022;30(spe2):e233064.
58. Liu F, Tang K, Zheng P-F, Zhang Z-Q, Ling G, Lou Y. Performance of Tönnis triple osteotomy in older children with developmental dysplasia of the hip (DDH) assisted by a 3D printing navigation template. *BMC Musculoskelet Disord* 2022;23(1):712.
59. Zhang H, Guan J-Z, Zhang Z, et al. Restoring Rotation Center in Total Hip Arthroplasty for Developmental Dysplasia of the Hip with the Assistance of Three Dimensional Printing Technology: A Pilot Study. *Orthop Surg* 2022;14(1):119–28.



# REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LAS APLICACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D EN LA CIRUGÍA ORTOPÉDICA DE CADERA



C. Álvarez Barbero, I. Aguado Maestro, I. García Cepeda

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde su aparición en 1984, la impresión 3D, se basa en la creación de objetos a partir de modelos digitales en 3D, construyendo capa por capa y fusionando diferentes materiales en el proceso.<sup>1</sup>

El costo asociado no se incrementa por la complejidad de la forma, sino por el tamaño del objeto.<sup>2</sup>

## 2. OBJETIVO



Llevar a cabo una revisión sistemática de todas las aplicaciones actuales en cadera, en la tecnología de fabricación 3D intrahospitalaria (*in-house*) en el campo de la cirugía ortopédica y traumatología desde el 1 de enero de 2022 al 30 de septiembre de 2023.



## 3. MATERIAL Y MÉTODOS

Los términos de búsqueda empleados en PubMed fueron los siguientes:

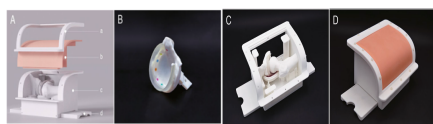
**3D printing AND (orthopedics OR traumatology) NOT tissue engineering NOT scaffold NOT in vitro**

✓ **Criterios de inclusión:** Artículos completos en inglés o español, aplicaciones en cirugía ortopédica de cadera

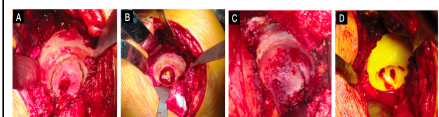
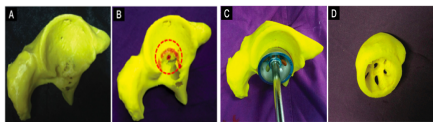
✗ **Criterios de exclusión:** Idioma distinto al español o inglés, estudios experimentales no realizados en humanos, fuera de instalaciones intrahospitalarias o previos al año 2022.

De **558** artículos solo **5** cumplieron.

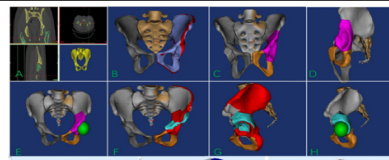
## 4. RESULTADOS



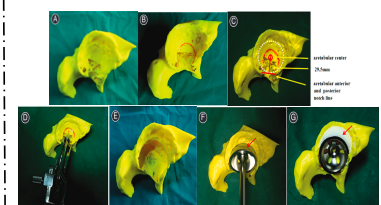
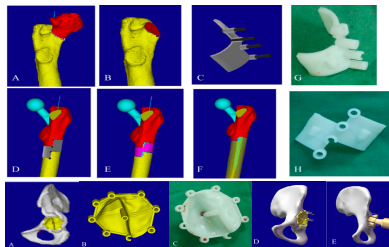
Simulador impreso en tres dimensiones (3D) como herramienta de evaluación de las habilidades en artroscopia de cadera.<sup>3</sup>



Medición de áreas de defecto óseo, en pacientes con displasia del desarrollo de la cadera.<sup>4</sup>



Plantilla de navegación de impresión 3D para la osteotomía triple de Tönnis en niños mayores con displasia del desarrollo de la cadera (DDH).<sup>5</sup>



Planificación mediante simulación con modelos 3D de la restauración del centro de rotación en la artroplastia total de cadera en pacientes con displasia del desarrollo de la cadera.<sup>7</sup>

Guías individualizadas impresas en 3D para artroplastia total de cadera en displasia del desarrollo de tipo Crowe IV de la cadera.<sup>6</sup>

## 5. CONCLUSIONES

1. Existe una amplia gama de aplicaciones quirúrgicas en impresión 3D.
2. Las aplicaciones dependen en muchas ocasiones de la creatividad del profesional.
3. La impresión 3D mejora el tiempo quirúrgico, la precisión, la tasa de infecciones, la exposición a radiación y la pérdida hemática, así como la comunicación entre profesionales.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

