

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ  
FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO FIN DE GRADO EN PODOLOGÍA



**TRANSFORMACIÓN DE LA CIRUGÍA ORTOPÉDICA DE PIE Y TOBILLO  
MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Autor: Lorca Andújar, José María

Tutora: Dña. Nuria Padros Flores

Departamento de Ciencias del Comportamiento y Salud

Área de Enfermería

Curso académico: 2023-2024

Convocatoria de Junio



# ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS .....	4
INDICE DE ABREVIATURAS.....	4
RESUMEN/ABSTRACT.....	5-6
1. INTRODUCCIÓN .....	7
1.1. Justificación .....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo general.....	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
3. MATERIAL Y MÉTODO .....	12
3.1. Protocolo.....	12
3.2. Criterios de inclusión y exclusión .....	12
3.3. Fuentes de información .....	12
3.4. Búsqueda.....	13
3.5. Proceso de selección de artículos.....	14
3.6. Diagrama de flujo PRISMA. ....	15
3.6. Proceso de extracción de datos.....	16
3.7. Calidad metodológica de los artículos.....	16
4. RESULTADOS.....	17
4.1. Características de los estudios.....	17
4.2. Calidad metodológica de los artículos.....	23
4.3. Síntesis de resultados.....	23
4.3.1 Modelos de IA utilizadas.....	23
4.3.2. Utilidad de la IA.....	24
4.3.3. Aplicaciones.....	26
5. DISCUSIÓN.....	27
6. CONCLUSIONES.....	31
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	32

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión.

Tabla 2. Búsqueda bibliográfica.

Tabla 3. Características de los estudios.

Tabla 4. Escala CASPE.

Figura 1. Tipos y subtipos de IA.

Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA.

Figura 3. Tipos de estudios.

Figura 4. Porcentaje de IA usada.

## INDICE DE ABREVIATURAS

**AA:** Aprendizaje automático, o ML, por sus siglas en inglés machine learning.

**AP:** Aprendizaje profundo. En inglés, **ML** (machine learning).

**CNN:** CNN: Convolutional neural network. En español, Red neuronal convolucional.

**GPT:** Por sus siglas en inglés, generative pretrained transformer (Transformador generativo preentrenado).

**HAV:** Ángulo del halux valgus.

**IA:** Inteligencia artificial.

**IMA:** Ángulo intermetatarsal.

**M1-M2:** 1º metatarsiano y 2º metatarsiano.

**MTF:** Metatarsofalángica.

**ORIF:** Por sus siglas en inglés, cirugía de reducción abierta y fijación interna.

**WBCT:** Por sus siglas en inglés, tomografía computarizada con carga.

**TC:** Tomografía Computarizada.

## RESUMEN

**Introducción:** La inteligencia artificial (IA) simula la inteligencia humana, permitiendo aprender y corregir errores, lo que es ideal para la cirugía ortopédica de tobillo y pie. Componentes clave como el aprendizaje automático (AA) y el aprendizaje profundo (AP) utilizan redes neuronales para tomar decisiones basadas en datos. ChatGPT, desarrollado por OpenAI, es capaz de analizar imágenes y textos complejos y, aunque aún es imperfecto, será esencial para la cirugía de pie y tobillo.

**Objetivo:** Analizar cómo la IA ha transformado la cirugía ortopédica de pie y tobillo.

**Métodos:** Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos de Pubmed y Scopus, con información desde 2014 hasta la actualidad, incluyendo aquellos artículos que hablasen sobre la IA en la cirugía de pie y tobillo.

**Resultados:** Se incluyeron seis artículos, de los cuales cuatro se obtuvieron a través de revisiones. Dos de ellos hablan sobre el ChatGPT y su versión mejorada ChatGPT4, otros dos sobre su aplicabilidad en el ámbito de la detección y pronóstico tras la operación de fracturas de tobillo, y los dos restantes sobre modelos exactos del pie y tobillo de los pacientes. Esto implica una mejora en la cirugía de pie y tobillo, favoreciendo la precisión de detección de la patología, la técnica quirúrgica y los resultados tras la operación.

**Conclusión:** La IA está transformando la cirugía ortopédica de tobillo y pie, estableciendo bases esenciales para mejorar diagnósticos, procedimientos quirúrgicos y rehabilitación.

**Palabras clave:** “Inteligencia Artificial”, “Cirugía”, “Pie”, “Tobillo”.

## **ABSTRACT**

**Introduction:** Artificial intelligence (AI) simulates human intelligence, allowing it to learn and correct errors, which is ideal for orthopaedic ankle and foot surgery. Key components such as machine learning (ML) and deep learning (DL) use neural networks to make data-driven decisions. ChatGPT, developed by OpenAI, is capable of analysing complex images and text and, although still imperfect, will be essential for foot and ankle surgery.

**Objective:** To analyse how AI has transformed orthopaedic foot and ankle surgery.

**Methods:** A literature search was conducted in the Pubmed and Scopus databases, with information from 2014 to the present, including articles discussing AI in foot and ankle surgery.

**Results:** Six articles were included, four of which were obtained through reviews. Two of them are about ChatGPT and its improved version ChatGPT4, another two about its applicability in the field of detection and prognosis after ankle fracture surgery, and the remaining two about accurate models of the patients' foot and ankle. This implies an improvement in foot and ankle surgery, favouring the accuracy of pathology detection, surgical technique and post-operative outcomes.

**Conclusion:** AI is transforming foot and ankle orthopaedic surgery, laying essential foundations for improved diagnostics, surgical procedures and rehabilitation.

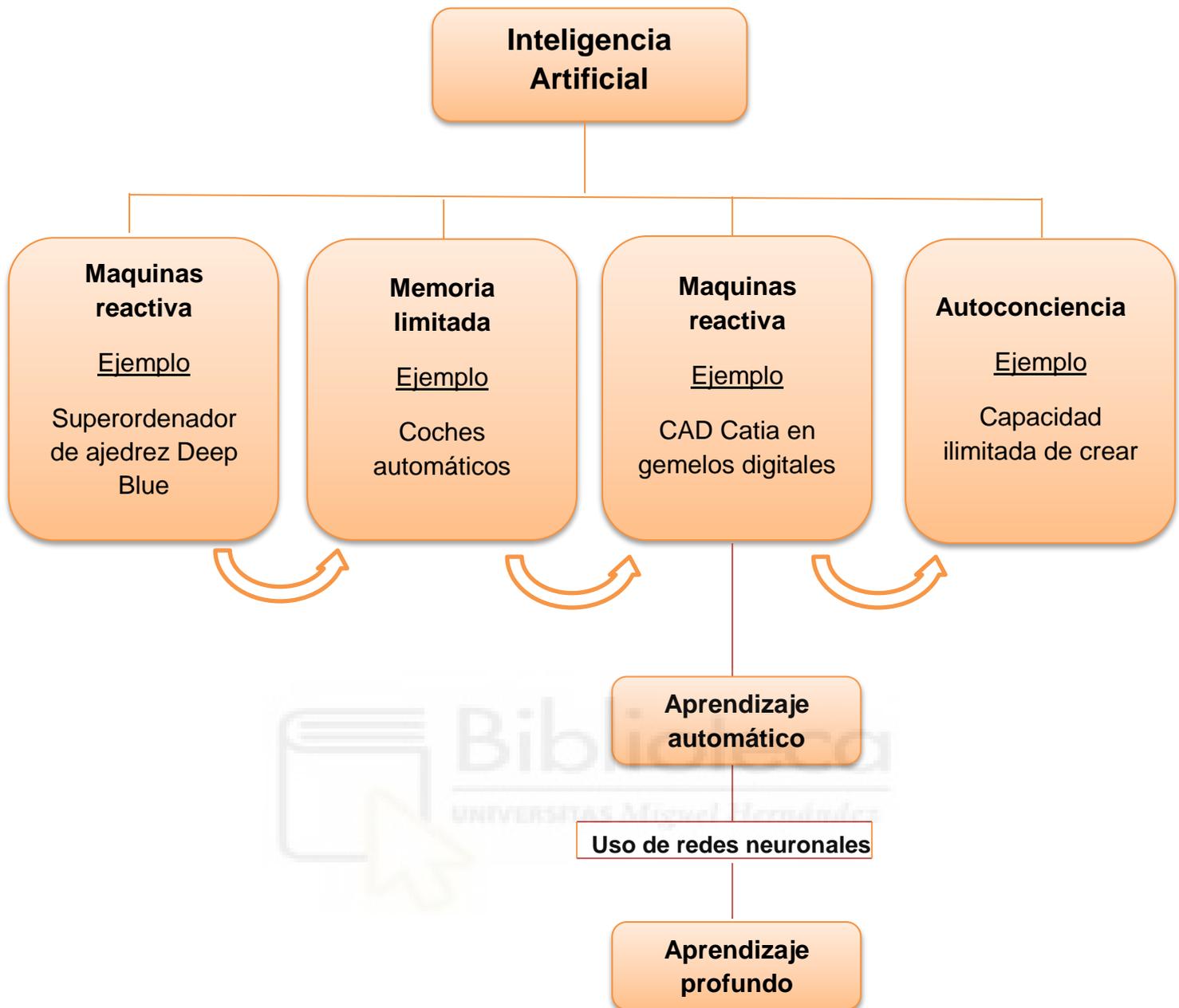
**Keywords:** 'Artificial Intelligence', 'Surgery', 'Foot', 'Ankle'.

## 1. INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial (IA) es una disciplina perteneciente al campo de la informática que permite simular la inteligencia humana a través de un ordenador (1). Existen cuatro tipos de IA: máquinas reactivas, memoria limitada, teoría de la mente y autoconciencia. Las máquinas reactivas pueden acumular información pudiendo usarla simplemente para reaccionar. La memoria limitada puede guardar información pero no aprende de ella. Teoría de la mente, es el tipo de IA actual, capacitada para acumular información, aprender de ella y, lo más importante, corregir sus propios errores para no volver a cometerlos (2, 3, 1). Por último, la autoconciencia, que representaría la cima de la IA al igualar la inteligencia humana, aún está muy lejos de alcanzarse. Como podemos observar, cada tipo de IA es una versión mejorada de la anterior y, aunque siguen existiendo por separado, hoy en día la investigación se centra principalmente en la teoría de la mente (1) (*Figura 1*).

Este tipo de tecnología, como hemos observado, ha ido evolucionado gracias a la introducción de una serie de subcomponentes que la dota de dichas características. Una es el aprendizaje automático (AA), que concede a la IA la capacidad de poder aprender de todos los datos que recopila de manera automática, es decir, sin la necesidad de programarla para ello (4). Esto permite que, a partir de lo que ha aprendido, pueda catalogar y enlazar la información para crear una respuesta (2, 5, 6).

El AA cuenta con un subtipo que hace que vaya más allá, el aprendizaje profundo (AP). Este modelo utiliza diferentes tipos de redes neuronales, como las convolucionales, que actúan como las neuronas cerebrales humanas, haciendo que, a partir de los datos obtenidos, se puedan dar respuestas a problemas más complejos, y realizar tareas con mayor grado de dificultad (2, 4, 5, 6).



**Figura 1. Tipos y subtipos de IA**

Dada su gran versatilidad, la IA se puede aplicar en diversas áreas como el transporte, la gricultura, la compra online o la sanidad. La IA también se está desarrollando para poder aplicarse en diferentes campos sanitarios como la podología, en concreto la cirugía de pie y tobillo.

Las técnicas y la tecnología que se están empleando hoy en día, en este ámbito, presentan un amplio abanico de mejora; un ejemplo de ello es la imposibilidad de determinar el eje de movimiento real de un paciente (4) o la gran dificultad y tiempo que requieren las mediciones de los ángulos que forman las estructuras del pie, y que

cambian dependiendo de la biomecánica de cada individuo (7). A esto se le suma que, aunque la técnica del cirujano sea la correcta, muchas veces el tratamiento seleccionado no es el adecuado o el mejor, ya que el cerebro humano no es perfecto, pudiendo cometer errores. Muchos de los clínicos más experimentados se rigen por técnicas menos actuales y los principiante, a los que se les ha enseñado conceptos más actuales, no saben cómo emplearlos (6, 8, 9).

Ante esto, se introduce la IA para aplicarla en diversas áreas clínicas, a través del uso de robots inteligentes para la realización de cirugías, como la artroplastia de tobillo, la evaluación de radiografías o la predicción de los resultados de las operaciones analizando los datos de los pacientes, sugerir cuales son los tratamientos o las técnicas quirúrgicas más adecuadas y ayudar al desarrollo de los clínicos más jóvenes, que aún no tienen experiencia, para que las cirugías que realicen obtengan mejores resultados, aprendiendo así de los posibles errores que podrían haber cometido (4, 9, 10). Todas estas capacidades podrían hacer que la IA sea la herramienta idónea para la práctica clínica.

En el año 2022, la empresa OpenIA creó ChatGPT, basándose en el aprendizaje automático recopiló miles de datos, y a partir de ahí creó esta red neuronal capaz de generar una respuesta y mantener una conversación real. Dicha empresa abrió al público esta aplicación con el fin de emplear las características del aprendizaje automático y así, a partir de nuestras preguntas, poder ir perfeccionándose. Esta versión de ChatGPT presentaba limitaciones, por lo que se ha ido mejorando y actualizando hasta llegar, a día de hoy, a la última versión ChatGPT4o; que emplea el aprendizaje profundo de tal manera que, puede analizar imágenes y textos con un mayor número de palabras y archivos, para proporcionar respuestas más precisas (6, 8, 11).

Obviamente, esta tecnología no es perfecta y aún comete errores, pero con el paso del tiempo irá creciendo, aprendiendo y mejorando; lo que la convertirá en una herramienta esencial en el proceso completo de la cirugía de pie y tobillo (4, 5, 8, 9, 10).

### **1.1. Justificación**

La presente revisión bibliográfica busca recopilar de los estudios publicados, los aspectos de la cirugía ortopédica de pie y tobillo en los que se ha podido aplicar la IA; aportando cómo ha sido posible, los beneficios, las limitaciones y sus perspectivas de futuro, para así poder dar a conocer esta novedosa tecnología. Muchas personas aún no conocen este modelo y otros, que si lo hacen, lo temen debido a las especulaciones de su uso en el futuro. Es por ello que, hay que dar un contexto para así poder resaltar los inmensos beneficios que podría presentar para este campo. Un ejemplo es la podología, en la que la medición más precisa de ángulos; para realizar operaciones de hallux abductus valgus o la prevención de úlceras diabéticas; para evitar las recurrentes apuntaciones que suelen conllevar el pie diabético (12), podrían impulsar el progreso de esta área.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Analizar cómo la IA ha transformad la cirugía ortopédica de pie y tobillo.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Examinar los diferentes enfoques, técnicas y algoritmos de la aplicación de la inteligencia artificial de cirugía de pie y tobillo.
- Evaluar los beneficios y desafíos asociados con la integración de la inteligencia artificial en la práctica de la cirugía de tobillo y pie.
- Identificar las perspectivas futuras de la inteligencia artificial en la cirugía tobillo y pie.



### 3. MATERIAL Y MÉTODO

#### 3.1. Protocolo

En cuanto a la realización de esta revisión bibliográfica, se ha llevado a cabo el Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis (PRISMA), para no cometer ningún error en la elaboración de la estructura. (Figura 1)

#### 3.2. Criterios de inclusión y exclusión

Tabla 1: criterios de inclusión y exclusión

<b>Criterios de inclusión:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Artículos publicados en los últimos 10 años (2014 – 2024).</li><li>- Artículos que especifiquen qué modelo de inteligencia artificial utilizan.</li><li>- Propuestas de modelos de IA cuyo desarrollo se aplique en cirugía ortopédica de tobillo y pie.</li></ul>
<b>Criterios de exclusión:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Artículos que tengan mala calidad metodológica.</li><li>- Artículos que no relacionen la inteligencia artificial con la cirugía ortopédica de pie y tobillo.</li></ul>

Fuente: elaboración propia.

#### 3.3. Fuentes de información

PubMed/Medline, Scopus y SciELO, así como la referencia de los estudios seleccionados para poder obtener artículos relacionados.

#### **Palabras clave:**

“Artificial Intelligence”, “Orthopedic Procedures”, “Surgery”, “Foot”, “Ankle”.

### 3.4. Búsqueda

La planificación de la búsqueda de artículos se ha realizado a través de la pregunta PICO:

P: Artículos científicos sobre la IA en cirugía de tobillo y pie.

I: Uso de la IA en las diferentes actuaciones quirúrgicas ortopédicas de pie y tobillo.

C: Proceso de la cirugía sin el uso de la IA.

O: Mejoras y avances en la cirugía ortopédica de pie y tobillo.

¿Hay artículos científicos en los que se emplee la IA para mejorar y conseguir avances en la cirugía ortopédica de pie y tobillo?

#### Tabla 2. Búsquedas bibliográficas.

A continuación se muestran las distintas estrategias de búsqueda, realizadas en la bases de datos de Pubmed y Scopus, especificando el total de artículos encontrados en cada una de ellas y el número que se ha obtenido de cada una de las búsquedas.

Pubmed	Total artículos: 91
1º búsqueda: 7	((("Artificial Intelligence"[Mesh]) AND "Orthopedic Procedures"[Mesh]) AND "Ankle"[Mesh])
2º búsqueda: 4	((("Artificial Intelligence"[Mesh]) AND "Orthopedic Procedures"[Mesh]) AND "Foot"[Mesh])
3º búsqueda: 25	Artificial intelligence in surgery of foot and ankle
4º búsqueda: 23	Artificial intelligence in foot and ankle orthopedic surgery.
5º búsqueda: 9	Artificial intelligence in foot and ankle orthopedic Procedures.
6º búsqueda: 10	((("Artificial Intelligence"[Mesh]) AND "Surgical Procedures, Operative"[Mesh]) AND "ankle"[Mesh])
5º búsqueda: 13	((("Artificial Intelligence"[Mesh]) AND "Surgical Procedures, Operative"[Mesh]) AND "foot" [Mesh])

<b>Scopus</b>	<b>Total artículos: 28</b>
1º búsqueda: 3	"Artificial Intelligence" AND "Orthopedic Procedures" AND "Ankle"
2º búsqueda: 2	"Artificial Intelligence" AND "Orthopedic Procedures" AND "Foot"
3º búsqueda: 18	"Artificial intelligence" AND "surgery" AND "foot" AND "ankle"
4º búsqueda: 3	"Artificial Intelligence" AND "Foot" AND "Ankle" AND "orthopedic surgery"
5º búsqueda: 2	"Artificial Intelligence" AND "Foot" AND "Ankle" AND "orthopedic procedures"

Fuente: elaboración propia

### **3.5. Proceso de selección de artículos**

Tras realizar la búsqueda de los artículos, entre el 20 y 25 de abril del 2024, procedimos a seleccionar aquellos que, tras leer el título y el abstract, se adaptan a nuestro objeto de estudio. A continuación, se descartan los artículos que, al realizar las diferentes búsquedas, están duplicados y prescindimos de aquellos en los que no se trata del tema de esta revisión bibliográfica. Finalmente, fueron seleccionados todos los que cumplían con los criterios de inclusión expuestos en el apartado 3.2, para su posterior lectura (*Figura 2*).

### 3.6. Diagrama de flujo PRISMA

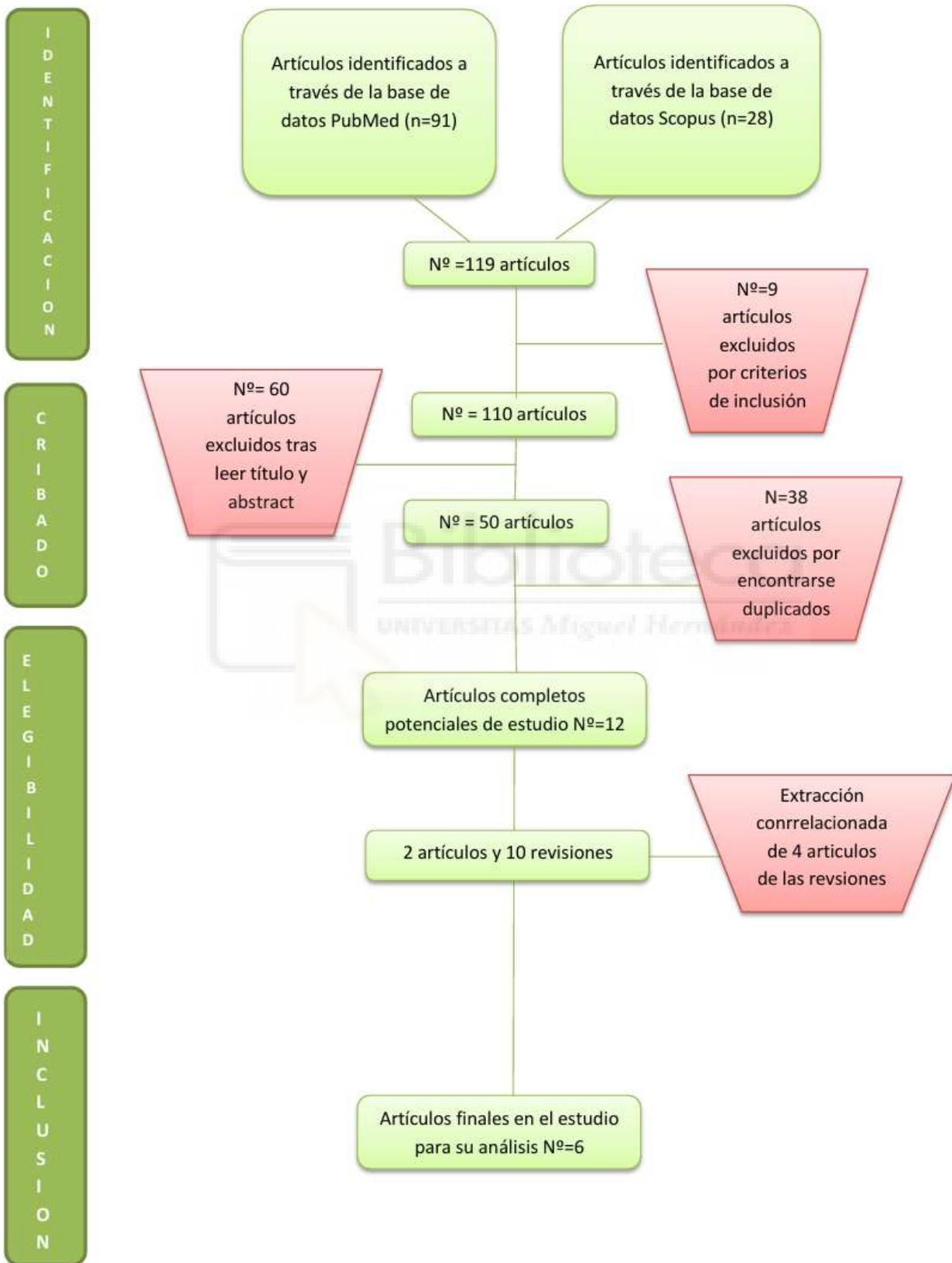


Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA

### **3.6. Proceso de extracción de datos**

De cada estudio se extrajo autor/es, año, país, título, población, IA, mediciones y resultados.

En cuanto a los datos obtenidos de la intervención se encuentran el tipo de IA usada, la utilidad y la aplicabilidad de los modelos de IA empleados.

Sobre los resultados, se extrajeron las conclusiones más relevantes de cada uno de ellos.

### **3.7. Calidad metodológica de los artículos**

Para realizar la valoración del riesgo de sesgo de los estudios escogidos se ha hecho uso de la herramienta escala CASPE (Programa de Habilidades en Lectura Crítica Español). Esta escala tiene como objetivo “proporcionar las habilidades necesarias para la lectura crítica de la evidencia clínica” (13)

Encontramos 11 preguntas en las que contestamos SI, NO o NO SE, y según lo que contestemos le asignamos 1 punto (SI), 0 (NO) o 0,5 (NO SE).

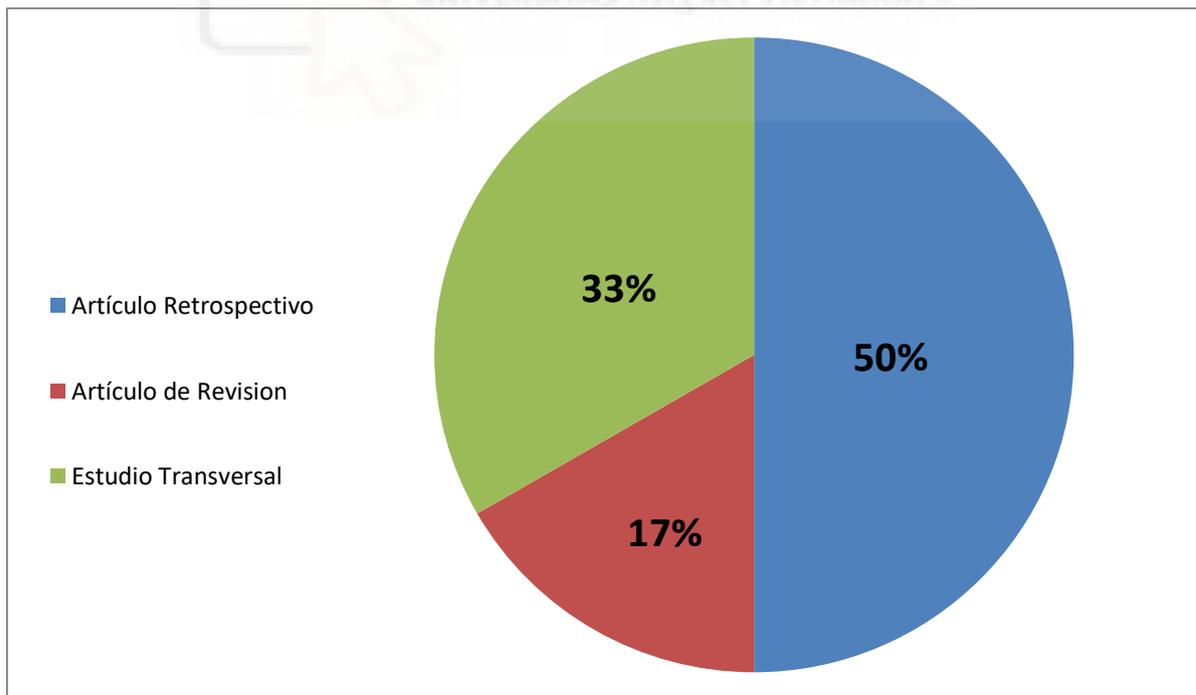
#### 4. RESULTADOS

Tras aplicar las estrategias de búsqueda explicadas anteriormente, se obtuvieron un total de 119 artículos. Estos artículos se acotaron con los criterios de inclusión y de exclusión, la lectura del título y el abstract, y la eliminación de los duplicados. Todo ello, hizo que se redujera el número de artículos a 12, de los cuales, tras realizar una lectura completa, se eliminaron 7. De los estudios seleccionados; 3 eran revisiones y a través de su bibliografía se seleccionaron 4. Como resultado final obtuvimos 6 artículos para realizar la presente revisión bibliográfica.

##### 4.1. Características de los estudios

Seguidamente, se desglosan las características de cada uno de los estudios en distintos apartados (*Tabla 3*).

Además, podemos observar en la figura 3 el porcentaje del tipo de estudio de los artículos seleccionados.



**Figura 3. Tipos de estudio**

**Tabla 3. Características de los estudios**

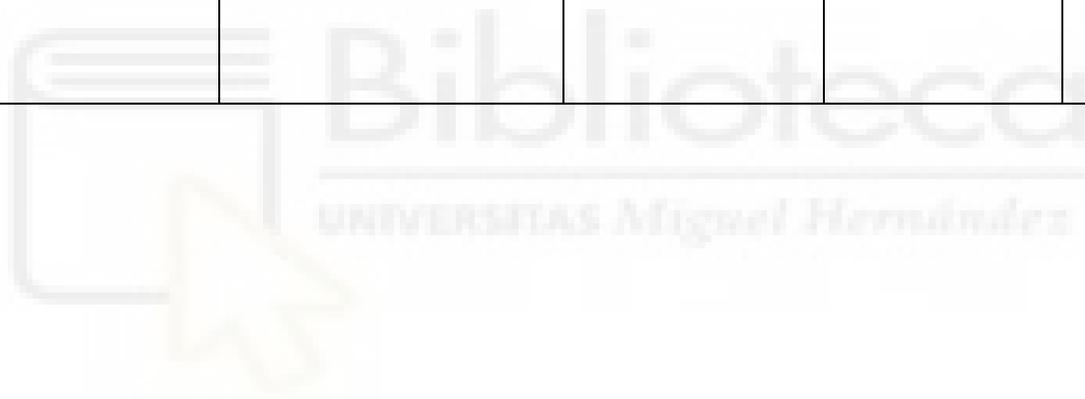
Autor, título, país y año	Objetivo	Población	Diseño	IA	Mediciones	Resultados
<p><b>Hernigou, et al.</b> Digital twins, artificial intelligence, and machine learning technology to identify a real personalized motion axis of the tibiotalar joint for robotics in total ankle arthroplasty <b>2021</b></p>	<p>Determinar el eje de movimiento real de cada paciente para conseguir una alineación axial del implante talar en la artroplastia total de tobillo</p>	<p><b>5 gemelos reales y 20 gemelos digitales</b> (100 tobillos virtuales)</p>	<p>Estudio retrospectivo de cohortes</p>	<p>Aprendizaje automático, en concreto el aprendizaje profundo (CAD Catia™)</p>	<p>Movimientos del eje de la articulación tibiotalar</p>	<p>Se obtiene un eje personalizado para cada paciente, utilizando el sistema geodésico para representar el eje del centro de masa del astrágalo, lo que se puede aplicar para la robótica en la artroplastia de tobillo.</p>
<p><b>Anastasio, et al</b> Evaluating the Quality and Usability of Artificial Intelligence–Generated Responses to Common Patient Questions in Foot and Ankle Surgery <b>2023</b></p>	<p>Evaluar la calidad y el beneficio educativo de las respuestas de ChatGPT a preguntas comunes relacionadas con el pie y el tobillo.</p>	<p>Evalúadores <b>equipo de investigación ortopédica</b> del estudio</p>	<p>Estudio transversal, nivel 3</p>	<p>Aprendizaje automático (ChatGPT (DICERN y AIRM)</p>	<p>“¿Cuál es el tratamiento óptimo para la artritis de tobillo?”. “¿Cómo debo decidirme por una artroplastia de tobillo frente a una artrodesis de tobillo?” “¿Necesito cirugía para la fractura de Jones? ” “¿Cómo puedo prevenir la artropatía de Charcot?” “¿Necesito acudir al médico por mi esguince de tobillo?”</p>	<p>Los profesionales de la salud calificaron las respuestas generadas por ChatGPT como de nivel inferior el 4,5% de las veces, de nivel medio el 27,3% de las veces y de nivel superior el 68,2% de las veces.</p>

Revisión	Autor, título, año	Objetivo	Población	Diseño	IA	Mediciones	Resultados
Vaish, et al Artificial intelligence in foot and ankle surgery: current concepts	<b>Merrill et al,</b> Machine Learning Accurately Predicts Short-Term Outcomes Following Open Reduction and Internal Fixation (ORIF) of Ankle Fractures. <b>2018</b>	Evaluar los algoritmos de aprendizaje automático para predecir con precisión los resultados a corto plazo después de la ORIF para las fracturas de tobillo.	16.501 casos para evaluar morbilidad, mortalidad y duración de la estancia >3 días y 33.504 casos para la readmisión a los 30 días Criterios de inclusión: - Adultos ≥18 años que se sometieron a ORIF de una fractura de tobillo durante 2013 o 2014. Criterios de exclusión: - Fracturas no especificadas de tobillo - Pacientes con un diagnóstico relacionado con un implante ortopédico infectado o fallido - Politraumatismos, que incluían un código diagnóstico de traumatismo en otra región del cuerpo, además de la fractura de tobillo En NRD se excluyeron además pacientes ingresados durante el mes de diciembre	Estudio transversal	CNN Aprendizaje automático, en concreto el aprendizaje profundo	La morbilidad y mortalidad, la estancia hospitalaria >3 días y el reingreso por todas las causas a los 30 días fueron los resultados de interés.	Algunas comorbilidades pueden estar asociadas con resultados adversos a corto plazo después de la ORIF de las fracturas de tobillo, y el aprendizaje automático puede predecir con precisión dichos resultados con éxito

<p>Gupta, et al Advances in Artificial Intelligence for Foot and Ankle Surgery: A Systematic Review</p>	<p><b>Day J, de Cesar Netto C, Richter M, et al.</b> Evaluation of a weightbearing CT artificial intelligence-based automatic measurement for the M1-M2 intermetatarsal angle in hallux valgus. Foot Ankle Int.  <b>2021</b></p>	<p>Evaluar una nueva medición automática basada en la IA para el ángulo intermetatarsiano M1-M2 en el hallux valgus</p>	<p><b>93 pacientes totales</b> (128 pies)  Criterios de inclusión: - Diagnóstico primario de HV sintomática clínica y radiográficamente (IMA &gt; 10°; HVA &gt;15°) Criterios de exclusión: - Cirugía previa de antepié - Artrosis grave de 1ª MTF Pie plano colapsante</p>	<p>Estudio retrospectivo multicéntrico comparativo de casos y controles Casos:59 Controles: 69 Grupo intervención (HV): - Medición manual de AMIVista dorsoplantar de Rx - Exploraciones que (mediciones automáticas con AI – 3D y 2D) Grupo control: - WBCT como seguimiento rutinario de patología no asociada a antepié.</p>	<p>Aprendizaje automático, en concreto el aprendizaje profundo (WBCT)</p>	<p>- IMA manual - IMA 2D - IMA 3D Tiempo medio de medición</p>	<p>Ambos grupos obtuvieron RMI significativamente superiores en grupo HV. Correlación lineal positiva entre RMI manual DRR y RMI auto 2D Y 3D Tiempo medio empleado para medir manualmente superior al empleado con IA.</p>
---	--	---	---	---	---	--	---

<p>Vaish, et al Artificial intelligence in foot and ankle surgery: current concepts</p>	<p><b>Shen et al,</b> Development and external validation of automated detection, classification, and localization of ankle fractures: inside the black box of a convolutional neural network (CNN) <b>2022</b></p>	<p>Responder dos preguntas: ¿cuál es el rendimiento de una CNN que detecta, clasifica, localiza y segmenta una fractura de tobillo, - ¿sería válida externamente?</p>	<p><b>12.000 exámenes radiográficos de tobillo</b> con vistas estándar (AP, Mortise y Lateral) del Centro de Traumatología de Nivel 1, entre enero de 2016 y diciembre de 2020. Criterios de inclusión: - Palabras clave en los informes radiológicos para crear una base de datos índice que contenía fracturas aisladas de peroné y una base de datos de no fracturas</p>	<p>Estudio retrospectivo de cohortes</p>	<p>Aprendizaje automático, en concreto el aprendizaje profundo</p>	<p>326 fracturas aisladas de peroné y 423 radiografías sin fracturas. Para detectar si había o no fractura, y la si había una fractura, clasificarla, localizarla y segmentarla</p>	<p>La CNN final fue capaz de clasificar las fracturas de peroné en cuatro clases (Danis-Weber A, B, C y Sin fractura) con valores de AUC que oscilaban entre 0,93 y 0,99. La precisión diagnóstica fue del 89% (sensibilidad (89%) y especificidad (96%)). La validez externa fue del 89-90%. Predicción de los límites de la fractura mediante la CNN = IoU medio de 0,65 (SD ± 0,16)) Predicciones de segmentación de fracturas mediante la CNN = IoU medio de 0,47 (SD ± 0,17)</p>
---	---	---	---	--	--	---	---

<p>The Era of Artificial Intelligence: Talking About the Potential Application Value of ChatGPT/GPT-4 in Foot and Ankle Surgery</p>	<p><b>Cheng et al,</b> The potential impact of ChatGPT/GPT-4 on surgery: will it topple the profession of surgeons? <b>2023</b></p>	<p>Resumir varias aplicaciones potenciales de ChatGPT/GPT-4 en múltiples aspectos del trabajo quirúrgico</p>	<p>- No tiene en cuenta ningún</p>	<p>Estudio descriptivo</p>	<p>Aprendizaje automático, en concreto el aprendizaje profundo (ChatGPT/GPT-4)</p>	<p>ChatGPT/GPT-4</p>	<p>ChatGPT/GPT-4 es capaz de participar en múltiples aspectos del trabajo quirúrgico, incluida la escritura científica, la comunicación médico-paciente, el diagnóstico por imágenes y el manejo peri operatorio de los pacientes</p>
---	---	--	------------------------------------	----------------------------	--	----------------------	---



## 4.2. Calidad metodológica de los artículos

En la mayoría de los estudios a excepción Hernigou (14), Anastasio (11) y Shen (15), han obtenido una puntuación moderada-alta, el de Merrill (16) y Day (7), moderada y el Cheng (17), muy baja ya que no tiene en cuenta a ningún paciente. Además, todos han obtenido un no en la pregunta 8 y 9 debido a que la IA necesita una cantidad de datos enorme para poder llegar a la perfección. A pesar de que, en los estudios hayan dado buenos resultados, los datos están limitados.

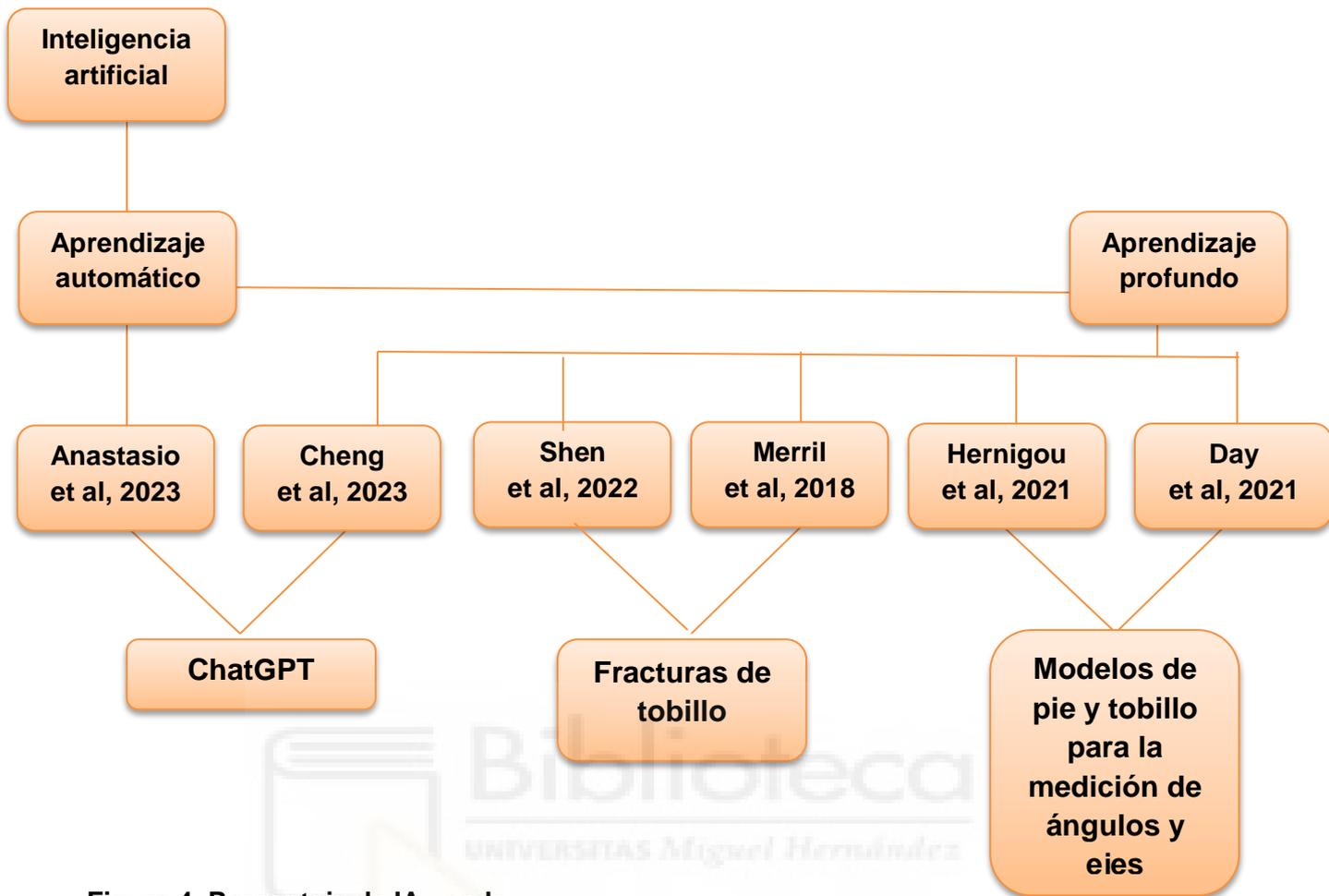
**Tabla 4. Escala CASPE**

Autor	1 ¿Se orienta el ensayo a una pregunta claramente definida?	2 ¿Fue aleatoria la asignación de los pacientes a los tratamientos?	3 ¿Fueron adecuadamente considerados hasta el final del estudio todos los pacientes que entraron en él?	4 ¿Se mantuvo el cegamiento?	5 ¿Fueron similares los grupos al comienzo del ensayo?	6 ¿Al margen de la intervención en estudio los grupos fueron tratados de igual modo?	7 ¿Es muy grande el efecto del tratamiento?	8 ¿Cuál es la precisión de este efecto?	9 ¿Puede Aplicarse Estos resultados en tu medio o población local?	10 ¿Se tuvieron en cuenta todos los resultados de importancia a clínica?	11 ¿Los beneficios a obtener justifican los riesgos y los costes?	Puntos totales
Day J, de Cesar Netto C, Richter M, et al	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	7
Hernigou, et al.	1	1	1	1	0,5	1	1	0	0	1	1	7,5
Anastasio, et al	1	1	1	0,5	1	0,5	1	0	0	1	1	8
Cheng et al,	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Merrill et al,	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	7
shen et al	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	8

## 4.3. Síntesis de resultados

### 4.3.1 Modelos de IA utilizadas

En estos artículos se han utilizado el aprendizaje automático y su submodelo el aprendizaje profundo: el 83% de los artículos usan el aprendizaje profundo y el otro 17% solamente el aprendizaje automático (*Figura 4*).



**Figura 4. Porcentaje de IA usada**

#### 4.3.2. Utilidad de la IA

Hernigou (14) y Day (7), emplean modelos tridimensionales para obtener una representación real de una estructura ósea. Mediante el análisis de los componentes principales, la localización de las superficies óseas y la forma de los huesos, Hernigou (14), emplea el modelo CAD Catia para identificar los mismos puntos de referencia anatómica en el gemelo digital y en el real (14); mientras que, Day (7), utiliza el modelo IA WBCT, para medir de manera automática el ángulo intermetatarsiano de M1-M2 en hallux valgus. Este sistema, al compararlo con el sistema imperante de medición manual por parte del clínico, obtiene una correlación moderada entre ambos y una fiabilidad de prueba-control mayor, dando como resultado una reproducibilidad casi perfecta y una mayor velocidad de resultados, tardando 10 segundos menos (7)

Shen (15) y Merrill (16) se centran en el uso del AA para la detección de fracturas en tobillo. Shen (15) mediante un nuevo modelo de CNN consigue, entre otras cosas, poder ayudar a los clínicos más jóvenes a formarse; favoreciendo la interpretación de fracturas (15). Mientras Merrill (16), emplea el AA para identificar los casos con mayor riesgo de experimentar eventos adversos tras determinadas cirugías, como la reducción abierta y fijación interna en fractura de tobillo para así poder observar las variables que hacen que varíe el resultado de la operación.

Por el momento, y tras analizar 3 resultados (morbilidad y mortalidad, la estancia hospitalaria >3 días y el reingreso por todas las causas a los 30 días) a través de los modelos de IA de regresión lingüística y de aumento de gradiente; se ha conseguido establecer que la edad, el estado del seguro, hipertensión y las ICC, son las variables que más afectan en los resultados de la operación a estudio (16).

Anastasio (11) y Cheng (17), hablan sobre el uso del ChatGPT. Por un lado, Anastasio (11) realiza 5 preguntas: "¿Cuál es el tratamiento óptimo para la artritis de tobillo?". "¿Cómo debo decidirme por una artroplastia de tobillo frente a una artrodesis de tobillo?". "¿Necesito cirugía para la fractura de Jones?" "¿Cómo puedo prevenir la artropatía de Charcot?" y "¿Necesito acudir al clínico por mi esguince de tobillo?". Las respuestas a estas preguntas fueron analizadas por expertos cirujanos ortopédicos del miembro inferior, y se llegó a una conclusión heterogénea entre los especialistas. Por ello, se insta a mejorar y proporcionar más datos a estos modelos de lenguaje generativo, para mejorarlos y que puedan dar respuestas más exactas (1). Por otro lado, Cheng (17), también aborda el tema del ChatGPT, pero de una versión mejorada, el GPT-4. Estos autores exponen las diferentes aplicaciones de este modelo de IA en la cirugía, centrándose en el aspecto perioperatorio (9).

### **4.3.3. Aplicaciones**

Hernigou (14) y Day (7), abogan por que su modelo se puede emplear en técnicas quirúrgicas, en concreto, Hernigou (14) en la artroplastia total de tobillo (7), y Day (7) en el hallux valgus (7).

Shen (15) y Merrill (16), abordan la cirugía en fracturas de tobillo y cómo la IA puede contribuir a facilitar el proceso. Shen (15) emplea las CNN para poder ayudar a los médicos principiantes a detectar y clasificar fracturas de tobillo (15), y Merrill (16) aplica el aprendizaje automático para detectar los factores que puedan suponer un riesgo para un paciente sometido a una operación de reducción abierta y fijación interna de una fractura de tobillo (16).

Anastasio (11) y Cheng (17), hablan sobre el Chat GPT y su utilidad. Cheng (17), aporta que es una herramienta que sirve de gran ayuda a los clínicos en el ámbito de las operaciones de tobillo (9), y Anastasio (11) trata la versión mejorada de este sistema, el GPT-4, que va más allá y puede proporcionar ayuda para la planificación preoperatoria, intraoperatoria y postoperatoria (11).

## 5. DISCUSIÓN

Dado que, nuestro objetivo de estudio es analizar cómo la IA ha transformado la cirugía ortopédica de pie y tobillo, se ha obtenido como resultado que la IA presenta una gran variabilidad y modelos que se pueden aplicar a distintos ámbitos de este tipo de cirugía. A pesar de la desigualdad de temas que se tratan en los artículos, todos ellos emplean la IA para llevar a cabo sus objetivos. Se han podido establecer tres subgrupos, clasificándolos según el tema con el que se correlacionan: modelos de pie y tobillo para la medición de ejes y ángulos, ChatGPT y fracturas de tobillo.

Muchos clínicos desearían utilizar modelos exactos que permitan la correcta medición de los diferentes ejes y ángulos que presentan las estructuras de pie y tobillo; gracias a la inteligencia artificial, es posible (7, 14). Por un lado, mediante el uso de sistemas como CAD Catia, un modelo que, combinándolo con los gemelos digitales, ha permitido establecer una correcta alineación axial del implante talar en la artroplastia total de tobillo. Esto se debe a que, este sistema, una vez que se obtienen los pares de gemelos, identifica el análisis de los componentes principales, la localización de las superficies óseas y la forma de los huesos de cada gemelo, y los compara para así identificar los mismos puntos de referencia anatómica en el gemelo digital y en el real, haciendo posible la correcta correlación entre los pares de gemelos (14). Esto se ha podido aplicar en el Hospital de Quirónsalud de Barcelona que utilizando la tecnología PIS (instrumento personalizado específico) ha conseguido realizar intervenciones exitosas usando prótesis individualizadas de tobillo (18).

Por otro lado, tenemos el modelo IA WBCT, el cual se ha empleado junto con las TCBT para medir el ángulo intermetatarsiano de M1-M2 en hallux valgus. Este software, utilizando el aprendizaje profundo, puede calcular automáticamente una medición IMA 3D sin intervención humana. Para ello, realiza una segmentación automática de los huesos largos del antepié, lo que genera vectores 3D que mapean la orientación espacial y permiten generar mediciones en el espacio 3D (7). Todo ello

presenta una gran aplicabilidad clínica, ya que el tobillo y el pie son estructuras anatómicas muy complejas que están sometidas en casi todo momento a factores como cargas, movimientos y alteraciones; datos imprescindibles a la hora de realizar una cirugía. Es por ello que, el uso de estos sistemas supondría un gran avance a nivel clínico (7, 14), ya que se pueden obtener ejes individualizados según cada paciente que se aproximen e incluso imiten la biomecánica del paciente (8). Como es sabido, un gran porcentaje de las recurrencias de operaciones de hallux valgus se deben a los altos fracasos en las cirugías. Es por ello que, poder obtener mediciones automáticas como la IMA de M1-M2 ayudaría a los clínicos a realizar esta tarea con mayor velocidad y reproducibilidad, incrementando así la tasa de éxito, ya que las mediciones angulares preoperatorias son cruciales en el pronóstico de esta cirugía (7).

Las fracturas de tobillo son variadas y algunas de ellas muy complicadas, lo que supone un problema para el ojo inexperto de clínicos que no están acostumbrados a ver radiografías. Este problema, gracias a la IA, se podría solventar con un nuevo modelo CNN, el cual puede detectar, segmentar y clasificar las fracturas de tobillo. De esta manera, se consigue guiar a los clínicos noveles para que aprendan de una manera visual y puedan tener mejores conocimientos de interpretación, diagnóstico y tratamiento quirúrgico en el menor tiempo posible (15). Aunque, para el ojo experto esto no supone ningún problema gracias a su experiencia, la IA ha sabido cómo introducir una mejora a través del aprendizaje automático. Aplicando este subtipo de IA en el ámbito de la reducción abierta y la fijación interna de las fracturas de tobillo, se ha logrado predecir con éxito los posibles factores de riesgo que complican el postoperatorio, es decir, la IA es capaz de advertir al clínico de los resultados desfavorables que puedan inducir al fracaso de la cirugía (16).

Actualmente, es muy común creer en la información que pone en internet antes que al propio especialista. Ante este problema, ChatGPT, al ser un sistema generador de información, podría proporcionar respuestas con una mayor base científica sobre

posibles patologías, tratamiento y su consecuente derivación al clínico especialista (1). La versión actualizada de este sistema, ChatGPT4, mantiene las características de sus versiones anteriores, pero llevando a cabo su función con mayor precisión, además de incorporar la función de análisis de imágenes y archivos, pudiendo emplearse a nivel perioperatorio en la escritura académica y asesorando al clínico (17).

Todos estos avances se podrán aplicar a multitud de especialidades sanitarias, como la podología. Estos profesionales son los que presentan una mayor tasa de éxito en sus operaciones de tobillo y pie, ya que conocen a la perfección la estructura del miembro inferior, así como todos los factores que lo alteran. Es por ello que la figura del podólogo es esencial, para poder aportar datos exactos y específicos, que es lo que la IA demanda. Además, la incorporación de estos sistemas beneficiaría a este campo, sobre todo a los podólogos más inexpertos, ya que podrían enfrentarse con mayor seguridad a cirugías de dedos en martillo, hallux valgus, pie plano, amputaciones en pie diabético o reconstrucción de tendones, y aprender de la experiencia que les aporta, ya que no hay mejor manera de formarse que con la práctica. Mediante el aprendizaje profundo también se podrían dar pronósticos del postoperatorio, analizando los datos del paciente y analizando mediante la reconstrucción 3D su biomecánica, para así predecir si hay factores que conllevan al fracaso de la operación, por ejemplo, la osteotomía de Skarf o Austin, para el hallux valgus, utiliza la presión ejercida por el propio paciente para que el hueso cicatrice adecuadamente, es por ello que, el saber a la perfección la biomecánica del paciente mejoraría los resultados debido a que, si hay alteraciones de la marcha hay posibilidad de que el hueso no se una y la cirugía fracase

Llegados a este punto, cuando la IA presente un aprendizaje profundo altamente entrenado, podría tener la capacidad de realizar cirugías más precisas. Esto podría plantear la posible sustitución del personal sanitario; sin embargo, es todo lo contrario.

La IA podrá sugerir métodos y respuestas con una mayor base de respaldo, pero es el clínico quien toma la decisión de cómo y cuándo utilizar dicha información. Además, el personal sanitario es la base de sustentación de la IA, ya que son ellos quienes aportan nuevos datos, lo que permite que este sistema avance y mejore. Para que la IA pudiera sustituir al clínico, sería necesario alcanzar la autoconciencia, un concepto bastante difuso y muy posiblemente inalcanzable. Es por ello que la IA podrá mejorar al clínico, pero jamás reemplazarlo.

En cuanto a las limitaciones de esta revisión, destacamos que el número de artículos obtenidos al realizar la búsqueda ha sido escaso, debido a que el uso de la IA es un campo muy novedoso. Además, los seleccionados tratan diferentes aspectos y aplicaciones de la IA, lo que hace que no podamos llegar a un consenso entre ellos. A esto se suma que casi ningún estudio tiene aplicaciones actuales en la cirugía de pie y tobillo. Esto se debe a diversos problemas, como el coste que requiere esta tecnología, ya que hay que subvencionar, no solo todo el instrumental necesario, que ya supone un gasto inmenso, sino el personal que lo maneja y los gastos derivados de sus investigaciones externas. Otro punto a destacar es que hay un vacío laboral en este sector, y muy pocos son los expertos que puedan trabajar combinando estos sistemas y la medicina. Por último, el acceso a los historiales clínicos, esto hace que sea aún más difícil poder proporcionar la inmensa cantidad de datos clínicos que demandan estos sistemas para poder aprender y mejorar (8, 14, 15, 16). Por todo ello, debemos seguir apostando por estos sistemas para que evolucionen y podamos aprovecharnos de todos sus beneficios.

## 6. CONCLUSIONES

- La IA se ha podido aplicar en diferentes ámbitos de la cirugía ortopédica de pie y tobillo para ayudar al clínico en el aprendizaje, la realización del diagnóstico y de cirugías más precisas y en la rehabilitación tras la cirugía.
- Actualmente, se encuentran en desarrollo diferentes sistemas que emplean el aprendizaje profundo: CAD Catia, para determinar el eje de movimiento real del tobillo de un paciente; IA WBCT para medir automáticamente el ángulo intermetatarsiano en casos de hallux valgus; CNN de AP para la detección de factores de riesgo postoperatorios en procedimientos de reducción abierta y fijación interna de fracturas de tobillo; y ChatGPT-4 para la planificación perioperatoria.
- Todos los modelos aún se encuentran en pleno crecimiento, y su aplicación óptima será en el futuro, cuando se acumulen suficientes datos clínicos, como para desarrollar modelos beta que proporcionen resultados y respuestas más precisas y exactas.
- La IA, conseguirá su integración en el proceso completo de la cirugía (preoperatorio, intraoperatorio y postoperatorio), cuando presente un aprendizaje profundo más entrenado. Lo que le convertirá en el ayudante perfecto del clínico, pudiendo ayudarlo a tomar decisiones rápidas y lo más acertada posibles en situaciones críticas, disminuyendo su carga de trabajo, analizando y representando ángulos, imágenes y radiografías de manera más exhaustiva y precisa, u orientado la rehabilitación.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1. Informe de evaluación de investigación responsable



#### INFORME DE EVALUACIÓN DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE DE 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)

Elche, a 13/05/2024

Nombre del tutor/a	Nuria Padros Flores
Nombre del alumno/a	José María Lorca Andújar
Tipo de actividad	Sin implicaciones ético-legales
Título del 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)	TRANSFORMACION DE LA CIRUGIA ORTOPEDICA DE PIE Y TOBILLO MEDIANTE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: REVISION BIBLIOGRAFICA
Evaluación de riesgos laborales	No solicitado/No procede
Evaluación ética humanos	No solicitado/No procede
Código provisional	240512110353
Código de autorización COIR	<b>TFG.GPO.NPF.JMLA.240512</b>
Caducidad	2 años

Se considera que el presente proyecto carece de riesgos laborales significativos para las personas que participan en el mismo, ya sean de la UMH o de otras organizaciones.

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: **TRANSFORMACION DE LA CIRUGIA PODOLOGICA MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL: REVISION BIBLIOGRAFICA Y PERSPECTIVAS FUTURAS** ha sido realizada en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)", habiéndose determinado que no requiere ninguna evaluación adicional. Es importante destacar que si la información aportada en dicho formulario no es correcta este informe no tiene validez.

Por todo lo anterior, **se autoriza** la realización de la presente actividad.

Atentamente,

Alberto Pastor Campos  
Jefe de la Oficina de Investigación Responsable  
Vicerrectorado de Investigación y Transferencia



Información adicional:

- En caso de que la presente actividad se desarrolle total o parcialmente en otras instituciones es responsabilidad del investigador principal solicitar cuantas autorizaciones sean pertinentes, de manera que se garantice, al menos, que los responsables de las mismas están informados.
- Le recordamos que durante la realización de este trabajo debe cumplir con las exigencias en materia de prevención de riesgos laborales. En concreto: las recogidas en el plan de prevención de la UMH y en las planificaciones preventivas de las unidades en las que se integra la investigación. Igualmente, debe promover la realización de reconocimientos médicos periódicos entre su personal; cumplir con los procedimientos sobre coordinación de actividades empresariales en el caso de que trabaje en el centro de trabajo de otra empresa o que personal de otra empresa se desplace a las instalaciones de la UMH; y atender a las obligaciones formativas del personal en materia de prevención de riesgos laborales. Le indicamos que tiene a su disposición al Servicio de Prevención de la UMH para asesorarle en esta materia.

La información descriptiva básica del presente trabajo será incorporada al repositorio público de Trabajos fin de Grado y Trabajos Fin de Máster autorizados por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández. También se puede acceder a través de <https://oir.umh.es/solicitud-de-evaluacion/tfg-tfm/>



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Martínez-García, D. N., Dalgo-Flores, V. M., Herrera-López, J. L., Analuisa-Jiménez, E. I., & Velasco-Acurio, E. F. (2019). Avances de la inteligencia artificial en salud. *Dominio de las Ciencias*, 5(3), 603.
2. Díaz-Ramírez, J. (2021). Aprendizaje Automático y Aprendizaje Profundo. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 29(2), 180–181.
3. Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., Wang, Y., Dong, Q., Shen, H., & Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and Vascular Neurology*, 2(4), 230–243.
4. Gupta, P., Kingston, K. A., O'Malley, M., Williams, R. J., & Ramkumar, P. N. (2023). Advancements in artificial intelligence for foot and ankle surgery: A systematic review. *Foot & Ankle Orthopaedics*, 8(1), 247301142211510.
5. Esteva, A., Chou, K., Yeung, S., Naik, N., Madani, A., Mottaghi, A., Liu, Y., Topol, E., Dean, J., & Socher, R. (2021). Deep learning-enabled medical computer vision. *Npj Digital Medicine*, 4(1), 1–9.
6. Fayed, A. M., Mansur, N. S. B., de Carvalho, K. A., Behrens, A., D'Hooghe, P., & de Cesar Netto, C. (2023). Artificial intelligence and ChatGPT in Orthopaedics and sports medicine. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 10(1).
7. Day, J., de Cesar Netto, C., Richter, M., Mansur, N. S., Fernando, C., Deland, J. T., Ellis, S. J., & Lintz, F. (2021). Evaluation of a weightbearing CT artificial intelligence-

based automatic measurement for the M1-M2 intermetatarsal angle in hallux Valgus. *Foot & Ankle International*, 42(11), 1502–1509.

8. Vaish, A., Migliorini, F., & Vaishya, R. (2023). Künstliche Intelligenz in der Fuß- und Sprunggelenkchirurgie: aktuelle Konzepte. *Orthopädie (Heidelberg, Germany)*, 52(12), 1011–1016.
9. Wang, D., He, Y., Ma, Y., Wu, H., & Ni, G. (2024). The era of artificial intelligence: Talking about the potential application value of ChatGPT/GPT-4 in foot and ankle surgery. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 63(1), 1–3.
10. Kumar, V., Patel, S., Baburaj, V., Vardhan, A., Singh, P. K., & Vaishya, R. (2022). Current understanding on artificial intelligence and machine learning in orthopaedics – A scoping review. *Journal of Orthopaedics*, 34, 201–206.
11. Anastasio, A. T., Mills, F. B., IV, Karavan, M. P., Jr, & Adams, S. B., Jr. (2023). Evaluating the quality and usability of artificial intelligence–generated responses to common patient questions in foot and ankle surgery. *Foot & Ankle Orthopaedics*, 8(4).
12. Cassidy, B., Hoon Yap, M., Pappachan, J. M., Ahmad, N., Haycocks, S., O’Shea, C., Fernandez, C. J., Chacko, E., Jacob, K., & Reeves, N. D. (2023). Artificial intelligence for automated detection of diabetic foot ulcers: A real-world proof-of-concept clinical evaluation. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 205(110951), 110951.

13. Santamaría Olmo, R. (2017). Programa de Habilidades en Lectura Crítica Español (CASPe). *Nefrología: publicación oficial de la Sociedad Española Nefrología*, 9(1), 100–101.
14. Hernigou, P., Olejnik, R., Safar, A., Martinov, S., Hernigou, J., & Ferre, B. (2021). Digital twins, artificial intelligence, and machine learning technology to identify a real personalized motion axis of the tibiotalar joint for robotics in total ankle arthroplasty. *International Orthopaedics*, 45(9), 2209–2217.
15. Shen, X., He, Z., Shi, Y., Liu, T., Yang, Y., Luo, J., Tang, X., Chen, B., Xu, S., Zhou, Y., Xiao, J., & Qin, Y. (2024). Development and validation of an automated classification system for osteonecrosis of the femoral head using deep learning approach: A multicenter study. *The Journal of Arthroplasty*, 39(2), 379-386.e2.
16. Merrill, R. K., Ferrandino, R. M., Hoffman, R., Shaffer, G. W., & Ndu, A. (2019). Machine learning accurately predicts short-term outcomes following open reduction and internal fixation of ankle fractures. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 58(3), 410–416.
17. Cheng, K., Sun, Z., He, Y., Gu, S., & Wu, H. (2023). The potential impact of ChatGPT/GPT-4 on surgery: will it topple the profession of surgeons? *International Journal of Surgery (London, England)*, 109(5), 1545–1547.
18. Hospital Quirónsalud Barcelona, centro referente en el uso de la tecnología personalizada en prótesis de tobillo. (s/f). Quirónsalud. Recuperado el 26 de mayo de 2024.