

Revolución tecnológica en ortopedia, fisiatría y medicina del deporte más que una necesidad

David Ricardo Jiménez Caicedo¹ Maira Alejandra Murcia Linares² Sergio Andrés González Arteaga³ Claudia Mercedes Florez Burbano⁴ Nataly Vanessa Jiménez Avilas⁵

1 David Ricardo Jiménez Caicedo*, Pontificia Universidad Javeriana, drjc92@hotmail.com

2 Maira Alejandra Murcia Linares, Universidad El Bosque, mairamurcia3@gmail.com

3 Sergio Andrés González Arteaga, Universidad del Sinú, Saga1709@hotmail.com

4 Claudia Mercedes Florez Burbano, Universidad del Cauca, clauferkia@gmail.com

5 Nataly Vanessa Jiménez Avila, Universidad Militar Nueva Granada, nvja15@gmail.com

Historia del Artículo:

Recibido el 25 de enero de 2021

Aceptado el 10 de diciembre de 2021

On-line el 20 de enero de 2022

Palabras Clave: Tecnología médica, fabricación aditiva, robótica, biomateriales, nanotecnología.

Keywords: Medical technology, additive manufacturing, robotics, biomaterials, nanotechnology.

Resumen

La tecnología médica ha presentado una revolución importante en los últimos años, en especial las áreas como ortopedia, medicina del deporte o fisiatría se han visto beneficiadas de estas tecnologías debido a su creciente uso clínico y la integración multidisciplinaria de otras ciencias que son aplicables en el área de la salud. La impresión 3D, la nanotecnología, la cirugía robótica, la tecnología portátil de monitoreo, la realidad aumentada y los biomaterial son algunas de las tecnologías de aplicabilidad clínica que han tomado fuerza en estas especialidades médicas, sin embargo todavía se enfrentan a limitantes por superar como lo es el costo de innovación y de recursos especializados que permitan la implementación de estas tecnologías.

Abstract

Medical technology has undergone a major revolution in recent years, especially in areas such as orthopedics, sports medicine and physiatry, which have benefited from these technologies due to their increasing clinical use and the multidisciplinary integration of other sciences that are applicable in the area of health. 3D printing, nanotechnology, robotic surgery, portable monitoring technology, augmented reality and biomaterials are some of the technologies of clinical applicability that have gained strength in these medical specialties, however, they still face limitations to overcome such as the cost of innovation and specialized resources that allow the implementation of these technologies.

* Autor para correspondencia:

David Ricardo Jiménez Caicedo*, Pontificia Universidad Javeriana, e-mail: drjc92@hotmail.com

Cómo citar:

Jiménez et al. Revolución tecnológica en ortopedia, fisiatría y medicina del deporte más que una necesidad. S&EMJ. Año 2022; Vol. 2: 160-189.

Introducción

La tecnología ha tenido grandes e innumerables avances en los últimos años a nivel global permeando casi por completo todos los ámbitos que involucran al humano entre ellos el área de la salud se ha visto influenciada por estas nuevas tendencias tecnológicas, generando integración de diferentes áreas del conocimiento, potencializando mejorías en la prevención, diagnósticos y tratamiento de múltiples de patologías.

Las áreas médicas de ortopedia, medicina del deporte y fisiatría se han visto favorecidas e influenciadas por nuevos avances tecnológicos. Los primeros avances tecnológicos en medicina se dieron en la neurociencia, sin embargo en años recientes estos avances se encuentran a disposición de especialidades como ortopedia, medicina del deporte y fisiatría, ya sea mediante el uso de materiales 3D para intervenciones pre y pos quirúrgicas, nanotecnología para prótesis, tecnología portátil de monitoreo para deportistas, cirugía guiada por computador, robótica, impresión tridimensional, entre otros, esto llevando a potencializar el área de conocimiento.

En esta revolución tecnológica la impresión 3D ha tenido una relevancia importante, debido a que es una técnica especial que ayuda a la fabricación de modelos tridimensionales utilizando diseños asistidos por computadora que ha tomado gran uso en ortopedia ya que permite anticipar el procedimiento quirúrgico mediante una planificación pre-operatoria, generar implantes y prótesis personalizadas que mejoran la calidad de vida del usuario. Así mismo tecnologías emergentes como la nanotecnología el cual tiene aplicabilidad como herramienta antimicrobiana y de hemostasia en procedimientos quirúrgicos aplicados con robótica y cirugía guiada por computador, mejorando los procedimientos ya estandarizados y disminuyendo los riesgos en el paciente.

Los dispositivos portátiles se presentan como un avance en la medicina del deporte, el seguimiento de los parámetros del atleta previos, durante o posterior a una intervención mediante el uso de dispositivos portátiles permite realizar un monitoreo en tiempo real permitiendo a los médicos analizar mejor las demandas físicas de los deportistas.

Sin embargo, aún este tipo de tecnologías presenta diferentes limitantes para su aplicación convencional como lo es su alto costo, la industrialización de materias primas y la falta de conocimiento frente a su utilidad clínica. Por lo tanto, conocer y comprender la aplicabilidad y limitantes de estas nuevas tecnologías por parte del personal de la salud y ciencias afines es ineludible

para poder continuar potencializando la ciencia médica en estas áreas de conocimiento.

Objetivo

Identificar mediante una revisión sistemática de la literatura los nuevos avances tecnológicos en ortopedia, fisiatría y medicina del deporte.

Metodología

Se realizó una búsqueda sistemática en las bases de datos (*Elsevier, PubMed, Scielo, Lilacs, EBSCO*) se recopilo una totalidad de 450 artículos dentro de los cuales se incluyen; estudio retrospectivo, revisión sistemática, estudio de caso, revisión bibliográfica, del total de los artículos buscados se seleccionaron 45 artículos en total puesto que contenían información actualizada, confiable, integral y novedosa respecto a nuevos avances tecnológicos en medicina específicamente en el área de ortopedia, medicina del deporte y fisiatría.

Introduction

Technology has had great and innumerable advances in recent years globally permeating almost completely all areas involving the human being, among them the health area has been influenced by these new technological trends, generating integration of different areas of knowledge, potentiating improvements in the prevention, diagnosis and treatment of multiple pathologies.

The medical fields of orthopedics, sports medicine and physiatry have been favored and influenced by new technological advances. The first technological advances in medicine were in neuroscience, however in recent years these advances are available to specialties such as orthopedics, sports medicine and physiatry, either through the use of 3D materials for pre and post-surgical interventions, nanotechnology for prosthetics, portable monitoring technology for athletes, computer guided surgery, robotics, three-dimensional printing, among others, this leading to enhance the area of knowledge.

In this technological revolution, 3D printing has had an important relevance, because it is a special technique that helps the manufacture of three-dimensional models using computer-aided designs that has taken great use in orthopedics as it allows to anticipate the surgical procedure through pre-operative planning, generate implants and customized prostheses that improve the quality of life of the user. Also, emerging technologies such as nanotechnology which has applicability as an antimicrobial and hemostasis tool in surgical procedures applied with robotics and computer-guided surgery, improving the already standardized procedures and reducing the

risks to the patient.

Wearable devices are presented as a breakthrough in sports medicine, the monitoring of the athlete's parameters before, during or after an intervention through the use of wearable devices allows real-time monitoring allowing physicians to better analyze the physical demands of athletes.

However, this type of technology still presents different limitations for its conventional application, such as its high cost, the industrialization of raw materials and the lack of knowledge regarding its clinical usefulness. Therefore, knowing and understanding the applicability and limitations of these new technologies by health personnel and related sciences is essential in order to continue promoting medical science in these areas of knowledge.

Objective

Identify through a systematic review of the literature new technological advances in orthopedics, physiatry and sports medicine.

Methods

A systematic search was carried out in the databases (Elsevier, PubMed, Scielo, Lilacs, EBSCO) and a total of 450 articles were compiled, including: retrospective study, systematic review, case study, bibliographic review. Of the total number of articles searched, 45 articles were selected because they contained updated, reliable, integral and novel information regarding new technological advances in medicine, specifically in the area of orthopedics, sports medicine and physiatry.

Fabricación Aditiva

La fabricación aditiva, es una técnica especial que fabrica modelos tridimensionales utilizando diseño asistido por computadora. La aplicación de la impresión 3D en ortopedia es cada vez más utilizada para la planificación preoperatoria, guías quirúrgicas, implantes personalizados y prótesis personalizadas. (9)

Los investigadores demostraron por primera vez la utilidad de la impresión tridimensional en la aplicación ortopédica, como lo describió una publicación del año 1990 que relata de creación de prótesis mediante la utilización de tecnología tridimensional. No obstante, en comparación con los métodos tradicionales, la tecnología no era lo suficientemente madura, el costo era demasiado alto, el tiempo de producción era demasiado largo y las propiedades del material eran demasiado limitadas para probarlo en ese momento, pero esto ha cambiado significativamente al pasar del

tiempo. (33)

Los modelos 3D impresos a partir de tomografías computarizadas y resonancias magnéticas pueden reconstruir partes anatómicas, lo que permite a los cirujanos comprender en detalle la anatomía a la que se someten durante la cirugía. Los modelos anatómicos impresos en 3D son particularmente útiles para la planificación preoperatoria, la simulación de procedimientos ortopédicos complejos y el desarrollo de implantes e instrumentos específicos para el paciente que se pueden usar en la operación. (14,24)

La impresión en 3D de modelos anatómicos, genera ayudas quirúrgicas impresas a medida y adaptadas a situaciones específicas, así mismo facilita el entrenamiento de personal médico mediante reproducciones personalizadas que abre un horizonte de posibilidades al liberar al especialista de las restricciones que impone el catálogo, ya que puede proponer, fabricar y evaluar sus propias soluciones. También los pacientes se ven beneficiados de este tipo de tecnologías, cuando se le muestra su afección representada en 3D, el paciente manifiesta confort y alivio, pues entiende la descripción anatómica de su problema y la dimensión del pronóstico de su lesión o enfermedad. (17,40)

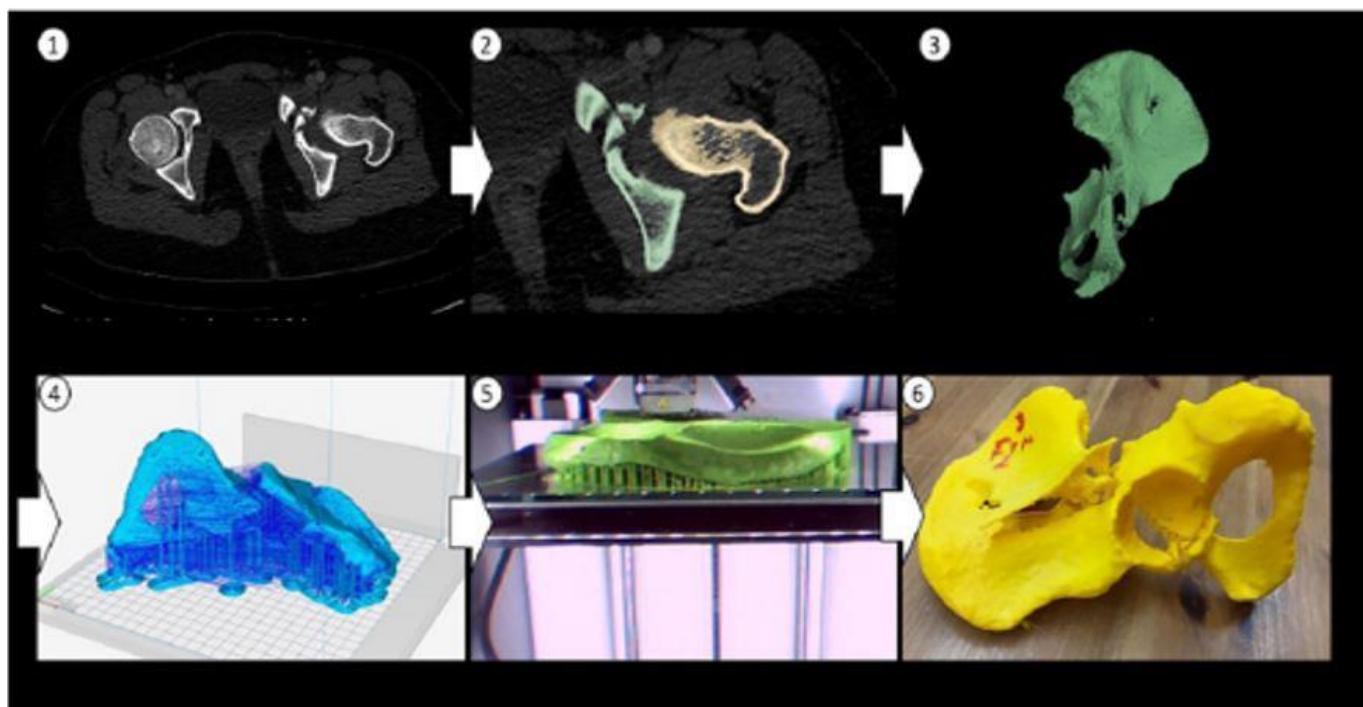
Los cirujanos ortopédicos evidencian una mejor

Figura 1: Modelo final impreso en 3D de una articulación de la cadera izquierda.



Fuente: Tomada con fines académicos de Ejnisman L, Gobbato B, de França Camargo AF, Zancul E. Three-dimensional printing in orthopedics: From the basics to surgical applications. 2021. (16)

Figura 2: Proceso básico para crear un modelo impreso en 3D a partir de datos volumétricos de imágenes. 1 – 2. Escanografía, 3. Creación imagen tridimensional, 4. Procesamiento de imagen, 5. Proceso de impresión, 6. Resultado de impresión.



Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de Weidert S, Andress S, Suero E, Becker C, Hartel M, Behle M. *3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training*. 2019. (28)

planificación del tratamiento con la ayuda de modelos impresos en 3D en comparación con los datos imagenológicos de TAC solamente. Especialmente para fracturas articulares complejas, como las del acetábulo y la meseta tibial, la evidencia rectifica beneficios para el paciente en términos de tiempo de cirugía reducido y pérdida de sangre con la ayuda de modelos 3D. (28)

Tipos de tecnología para creación tridimensional

Existen dos tipos de tecnologías para crear un objeto: La sustractiva; en el cual el material innecesario es extraído por la impresora, mientras que la tecnología aditiva; se caracteriza por sumar capa sobre capa. Existen tres grandes mecanismos de funcionamiento de las impresoras aditivas:

Estereolitografía (SLA): Se aplica luz ultravioleta a una superficie que contiene resina, esta luz es controlada por una computadora y va polimerizando la superficie de la resina en la superficie dando forma al objeto. (14)

Sintonización selectiva por láser: Técnicas basadas en láseres en las que un haz de luz se dirige selectivamente a la capa de polvo, generando calor localizado y creando un patrón fundido; Despues del curado, se aplica una nueva capa de polvo y se repite el proceso, acumulando capa por capa. Varios

polímeros termoplásticos, metálicos y cerámicos se pueden usar, pero los requisitos de alta temperatura limitan el uso de esta tecnología en los procesos de fabricación biológica. (17,32)

Modelado por Deposición Fundida: Se usa ampliamente para fabricar andamios personalizados y adaptar sus propiedades mecánicas para aplicaciones de ingeniería de tejidos. El polímero termoplástico fundido se extruye en filamentos, que se depositan en capas, formando un andamio 3D capa por capa. Se han desarrollado y procesado varios termoplásticos biocompatibles utilizando esta técnica. Sin embargo, la policaprolactona es el polímero de elección más utilizado debido a su punto de fusión relativamente bajo y su disponibilidad comercial en productos de grado médico. La gran ventaja de esta impresora es su alta disponibilidad y bajo costo de material, lo que la convierte en una excelente opción para imprimir grandes estructuras. (32,40)

Proceso de fabricación aditiva:

-Generación de imágenes

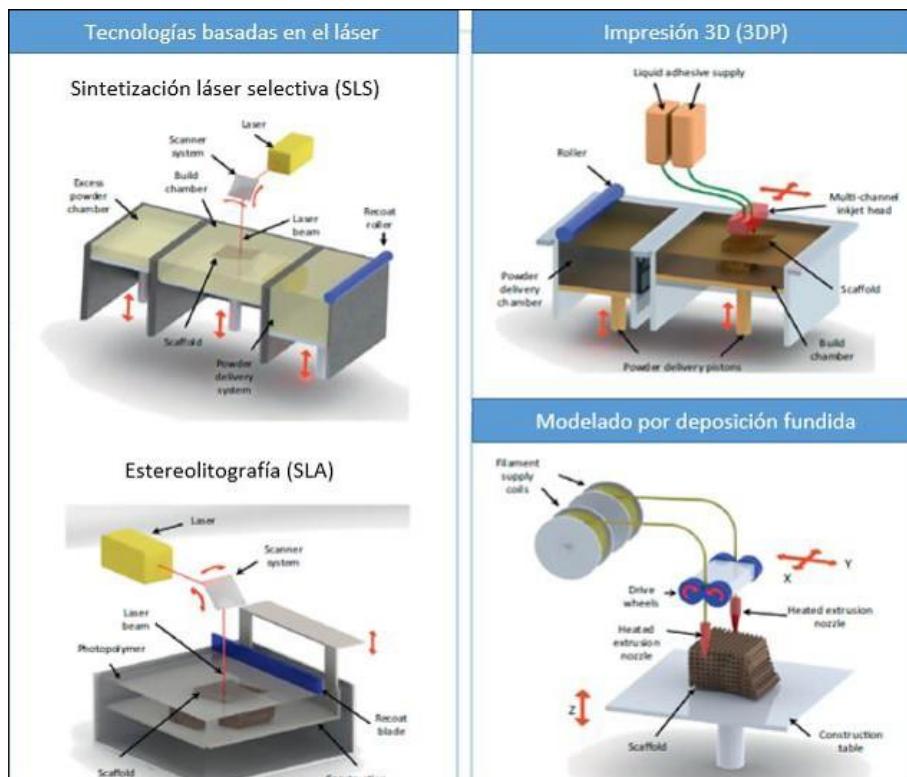
El primer paso es la recolección de las imágenes, en el campo de la Ortopedia y Traumatología se utilizan los estudios de tomografía computarizada. La información generada por la TAC es transferida a

Figura 3: Planificación quirúrgica de osteosarcoma pélvico: resección y construcción con aloinjerto.



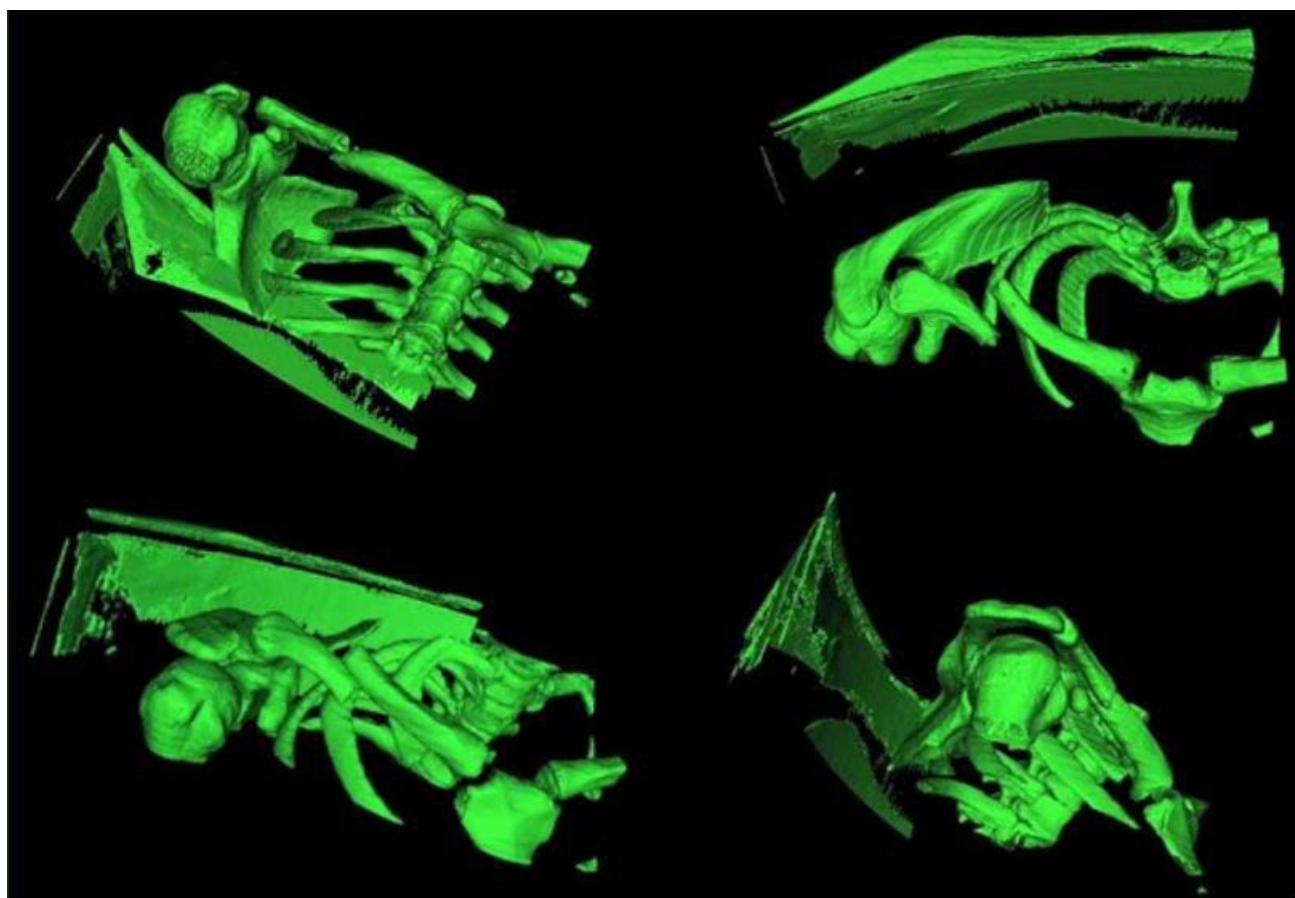
Fuente: Tomada con fines académicos de Pérez-Mañanes R, Calvo-Haro J, Arnal-Burró J, Chana-Rodríguez F, Sanz-Ruiz P, Vaqueiro-Martín J. Nuestra experiencia con impresión 3D doméstica en Cirugía Ortopédica y Traumatología. 2016. (17)

Figura 4: Esquema representativo de tipos de producción de impresión tridimensional.



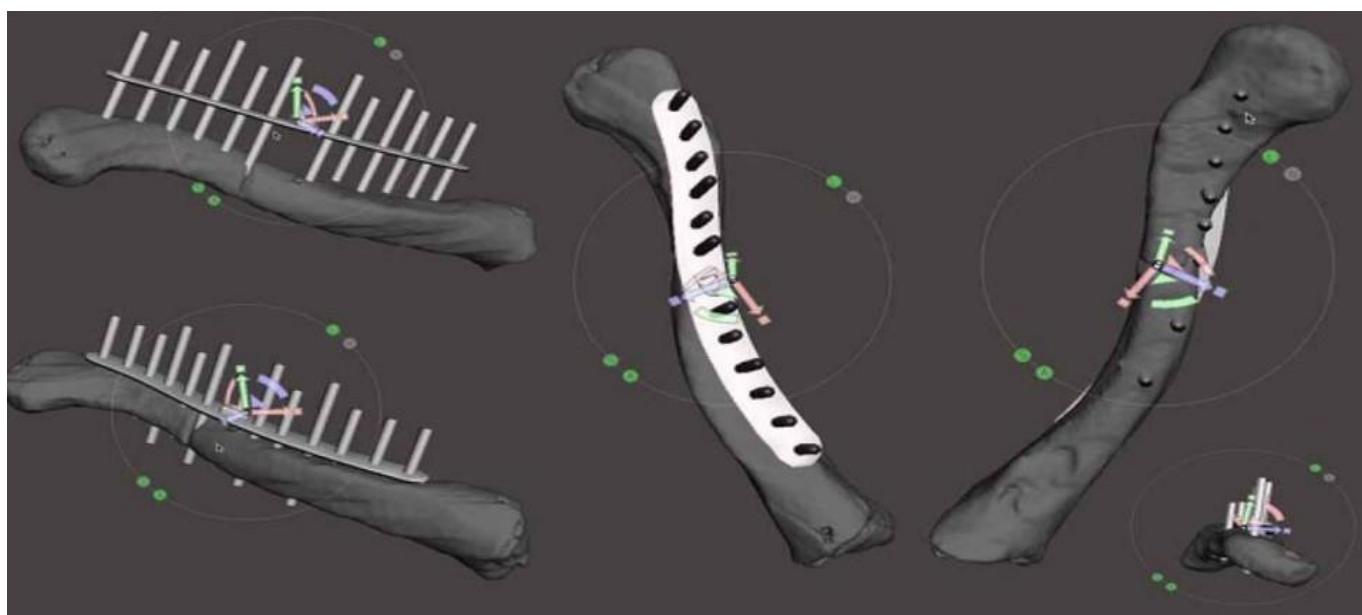
Fuente: Tomada y modificado con fines académicos de Moroni L, Boland T, Burdick JA, De Maria C, Derby B, Forgacs G. *Biofabrication: A guide to technology and terminology*. 2018. (32)

Figura 5: Visualización de Modelo tridimensional maleable en planos del espacio virtual.



Fuente: Tomada con fines académicos de Bruno G, Daniel M, Fernando MF, Sergio V. Vista de Guía práctica de planificación e impresión 3D en Ortopedia y Traumatología. (14)

Figura 6: Ejemplo de demostración tridimensional del posicionamiento de la placa y los tornillos en distintos planos del espacio.



Fuente: Tomada con fines académicos de Bruno G, Daniel M, Fernando MF, Sergio V. Vista de Guía práctica de planificación e impresión 3D en Ortopedia y Traumatología. (14)

una computadora mediante un archivo. (14)

-Procesamiento

El diseño de las imágenes se realiza con programas para la reconstrucción de imágenes de TAC. Se trata de programas de diseño asistido por computadora, estos permiten transformar el archivo original generando una malla de triángulos que permite definir la superficie y la forma de un objeto. (14,41)

-Pos-procesamiento

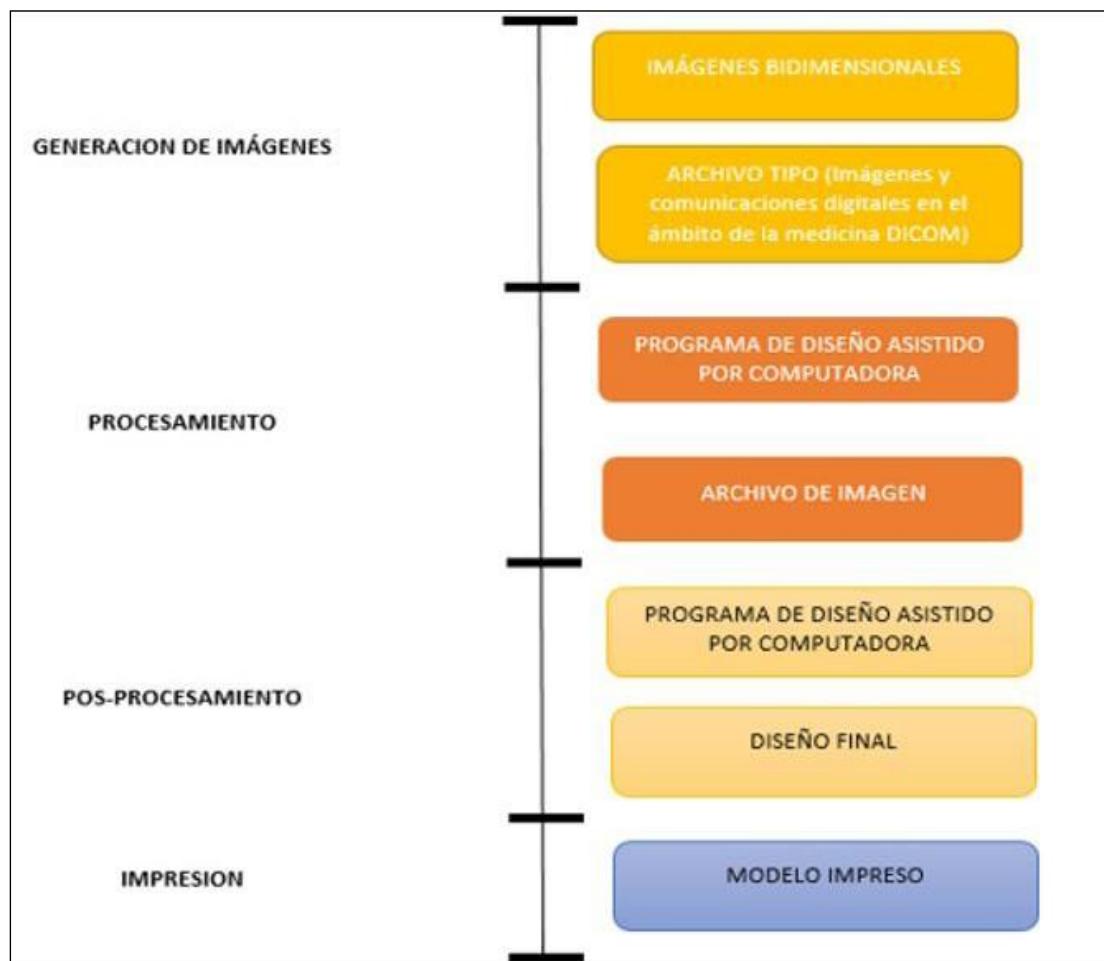
Es una etapa para realizar un prototipado oportuno. En este paso se realizan ajustes para mejorar la calidad del modelo, mediciones y simulaciones quirúrgicas. El *software* de pos-procesamiento de imágenes extrae imágenes ICOM para reconstruir datos. Esta técnica es particularmente útil para corregir estructuras óseas como en fracturas. (26,41)

- Impresión

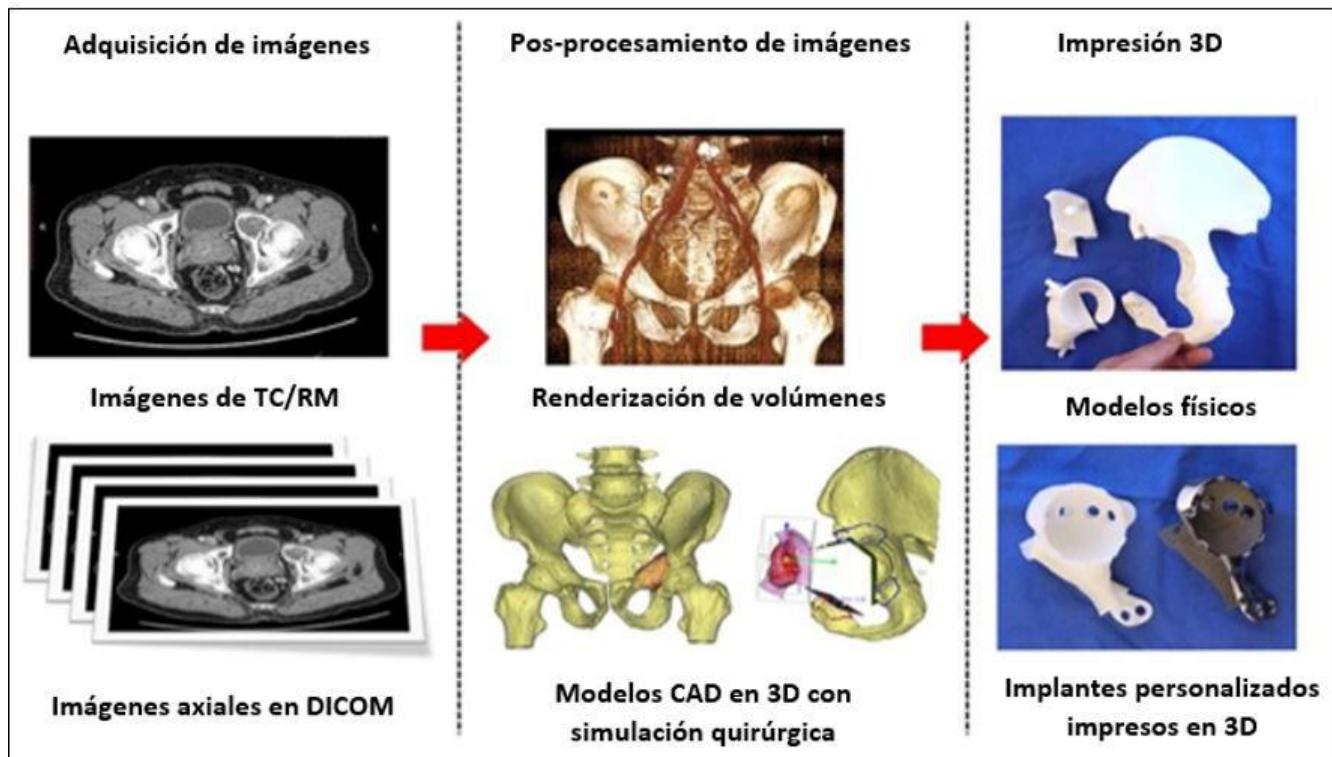
Es el proceso final donde se tendrá un producto generado en 3D y se agrega la sensación táctil. El software analiza el archivo STL que representa el modelo 3D que se va a fabricar y “corta” el modelo en una serie de capas seccionales. Luego, la impresora 3D crea un modelo 3D físico y agrega capas adicionales de material para recrear la sección transversal virtual a real. (41)

Utilizando la anatomía usual de una persona adaptada, el cirujano puede entender la deformidad y planear las correcciones que tienen la posibilidad de conseguir con implantes específicos para el paciente. Por medio de una mejor comprensión de la anatomía, la biomecánica y la investigación de recursos finitos, se tiene la posibilidad de arreglar deficiencias anatómicas y esqueléticas. Inclusive puede presagiar el mal funcionamiento del implante y el rango de desplazamiento luego de la cirugía. (14, 26, 41)

Esquema 1: Etapas desde la generación de imágenes hasta el modelo impreso finalizado.



Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de Bruno G, Daniel M, Fernando MF, Sergio V. Vista de Guía práctica de planificación e impresión 3D en Ortopedia y Traumatología. (14)

Figura 7: Resumen de los pasos de procesamiento tridimensional de implante óseo.

Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de Wong KC. 3D-printed patient-specific applications in orthopedics. 2016. (41)

Aplicación de la impresión tridimensional en la cirugía ortopédica

- Cirugía de columna

Los modelos de fracturas vertebrales impresos en 3D pueden ayudar a los médicos a identificar signos complejos de fracturas vertebrales, practicar cirugías vertebrales previas y diseñar programas de formación estandarizados. Mediante el uso de tecnología de impresión 3D para hacer un modelo realista de la columna vertebral, es posible describir con imágenes la patología clínica, investigar la causa de la enfermedad, discutir y practicar la etapa quirúrgica de la cirugía de columna. (9,26)

Los médicos pueden usar la impresión 3D para informar enfermedades y planes de tratamiento para pacientes que carecen de conocimientos teóricos. Esto ayuda a los pacientes a apreciar el tratamiento, alivia el estrés y la ansiedad y los hace más cooperativos. También ayuda a los pacientes a comprender mejor los riesgos y el pronóstico de la cirugía y reduce las disputas entre médicos y pacientes. (26)

- Cirugía de cadera y pelvis

La cirugía de cadera y pelvis es particularmente desafiante por la anatomía compleja requiere una

comprensión detallada de la anatomía 3D a partir de imágenes 2D. El uso de la impresión 3D para apoyar la cirugía de cadera y pelvis es cada vez más común. La tecnología de impresión 3D brinda a los cirujanos la capacidad de pre-diseñar operaciones en función de la anatomía y la patología de un paciente en particular. (24)

- Cirugía de rodilla

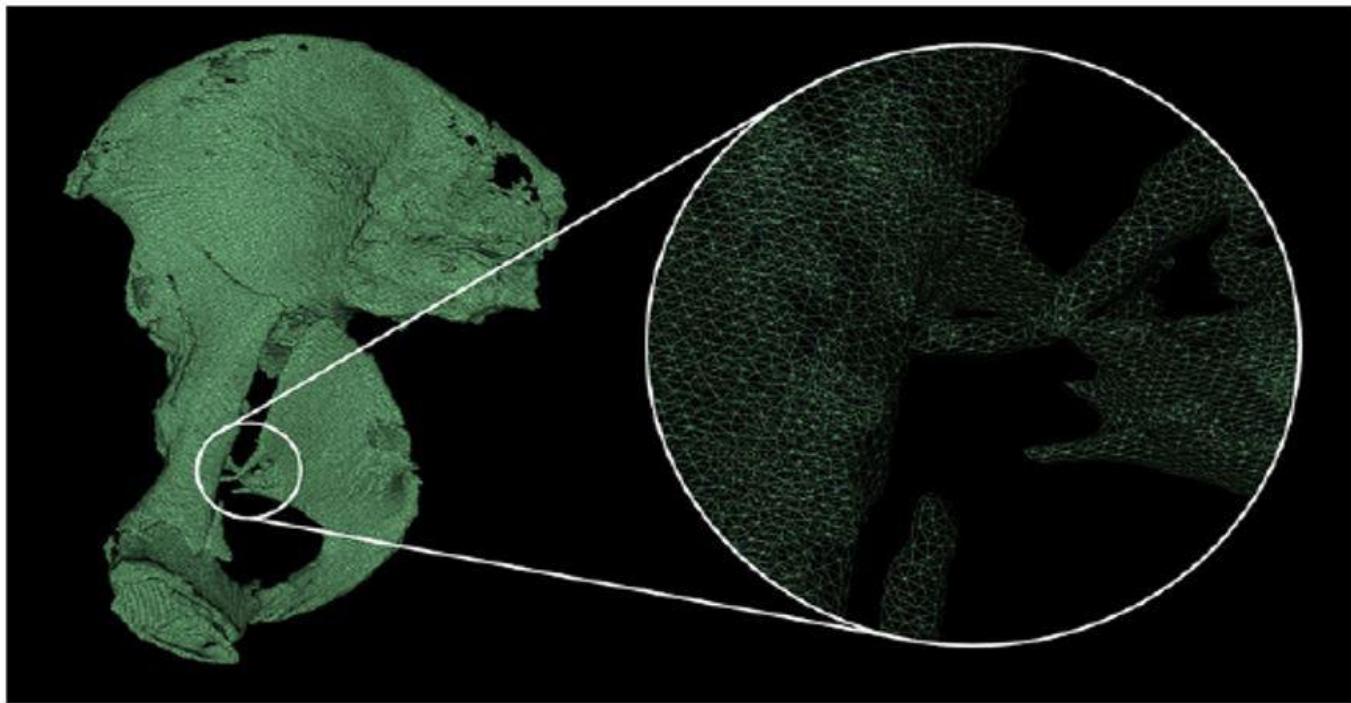
La tecnología de impresión 3D podría usarse en la cirugía de rodilla, como el reemplazo total de rodilla, la osteotomía de rodilla y la reparación del ligamento cruzado anterior. (24)

El andamio biológico óseo debe ser estructuralmente estable, mientras que la restauración del cartílago requiere un andamio flexible. Los parámetros estructurales como la porosidad, el tamaño de los poros y el mutualismo se controlan con precisión mediante programas informáticos para mantener la adhesión, proliferación y diferenciación celular. Puede ayudar en una pronta recuperación post-operatoria. (37)

- Cirugía de tobillo

La información que se puede obtener de los modelos impresos en 3D es crucial para la evaluación

Figura 8: Modelo impreso en 3D de un león, utilizando el modelado por deposición fundida (FDM).



Fuente: Tomada con fines académicos de Weidert S, Andress S, Suero E, Becker C, Hartel M, Behle M. *3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training*. 2019. (28)

de la patología del pie y el tobillo ayudando al cirujano en la planificación y las decisiones de gestión preoperatoria. Numerosos estudios han demostrado que los modelos impresos en 3D se pueden usar de manera efectiva en cirugías complejas de pie y tobillo. (24)

La bioimpresión tridimensional

La bioimpresión tridimensional es una estrategia de biofabricación prometedora e innovadora que permite la selección precisa de productos biológicos, incluidas las células vivas y los componentes de la matriz extracelular. La bioimpresión tridimensional es una técnica utilizada para crear estructuras biológicas jerárquicas similares a sus estructuras nativas. (3,19)

La bioimpresión es una aplicación extendida de la tecnología de fabricación aditiva que permite la impresión de materiales biológicamente funcionales capa por capa sobre un sustrato cuando se incrusta en un biomaterial compatible con células. Este proceso implica imprimir y aplicar directamente una muestra de células u otras entidades biológicas a un sustrato o placa de cultivo de tejidos mediante un sistema de entrega automatizado. Este desarrollo garantiza que las células individuales y los múltiples tipos de células permanezcan juntas cuando se descomponen en materiales biocompatibles, creando la estructura 3D funcional deseada. (3,19,24)

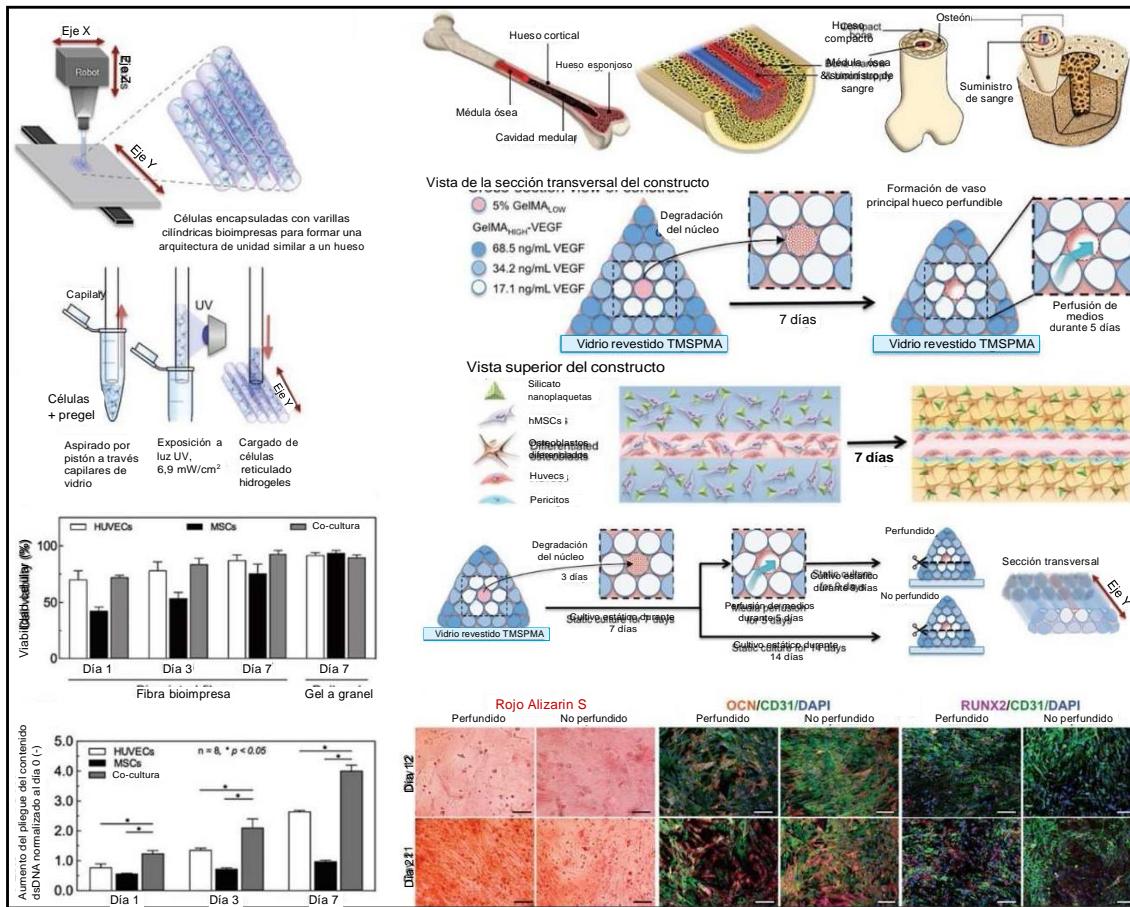
El uso de bioimpresoras 3D permite la distribución y colocación precisas de biomateriales, factores de señalización y células heterogéneas de alta densidad para crear estructuras de ingeniería de tejidos. La estructura bioimpresa en 3D con poros interconectados y gran superficie facilita la adhesión celular, el crecimiento, la comunicación de célula a célula, así como el intercambio de gases y nutrientes. (19)

La bioimpresión 3D presenta varios desafíos. Estos incluyen: identificación de materiales de impresión biodegradables y biomiméticos que permiten la adhesión y proliferación celular, la necesidad de angiogénesis de una sola célula, el modelado integral de tejidos heterocelulares y el mantenimiento de la viabilidad celular y la función a largo plazo después de la impresión. (19)

Nanotecnología

La nanotecnología ofrece nuevas opciones terapéuticas y de diagnóstico para la práctica clínica ortopédica y métodos para mejorar el rendimiento del implante ortopédico actual. Recientemente, existe un gran interés en el uso de la nanotecnología para los tratamientos hemostáticos y la infección en la cirugía ortopédica, que ha demostrado un gran potencial y promete aplicaciones clínicas. (3,4)

Con propiedades fisicoquímicas ajustables los nanomateriales pueden inducir la eliminación

Figura 9: Fabricación de un constructo mimético de bioimpresión ósea tridimensional con nichos osteogénicos y vasculogénicos.

Fuente: Tomada con fines académicos de Matai I, Kaur G, Seyedsalehi A, McClinton A, Laurencin CT. *Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering*. *Biomaterials*. 2020; (19)

innata de bacterias, lo que permite un control preciso del proceso de disolución, liberación del agente antimicrobiano, conferir propiedades anti-incrustantes y modular la respuesta inmunitaria del huésped. (4)

Debido a propiedades como el tamaño, la morfología, la topografía y la química de la superficie, los nanomateriales son capaces de eliminar bacterias, lo que permite un control preciso de la liberación de antimicrobianos y modula la respuesta inmunitaria del huésped. Sin embargo, dado que las bacterias pueden adaptarse y crecer, pueden adquirir resistencia a la nanotecnología antimicrobiana, especialmente cuando hay una eliminación incompleta de bacterias o daños materiales asociados a los tejidos periféricos en los sitios de implante. (3,4)

Como agentes hemostáticos, los nanomateriales tienen una serie de propiedades fisicoquímicas que pueden influir fuertemente en la composición del sistema de coagulación. Aunque los nanomateriales han mostrado un potencial en el control de hemorragias, se presenta una preocupación por la coagulopatía inducida por nanomateriales. (3)

Materiales hemostáticos habilitados con nanotecnología

➤ Nanomateriales hemostáticos de origen natural

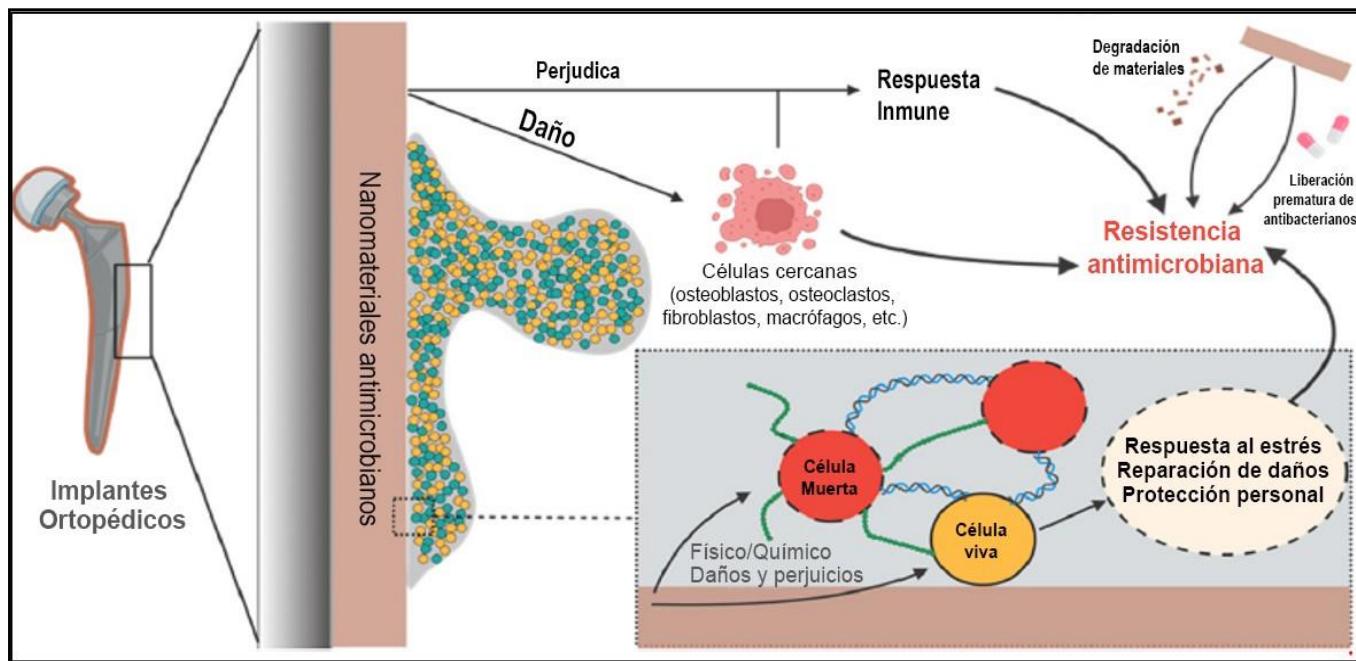
- Celulosa oxidada
- Nanotubo de haloisita/nanocompuesto de quitosano
- Membrana nanofibrosa

➤ Nanomateriales hemostáticos sintéticos

- Xerogeles mesoporosos a base de sílice
- Péptidos autoensamblados
- Geles de óxido de etileno y óxido de propileno con nanohidroxiapatita/alginate
- Coloides de oro unidos a polifosfato
- Membrana de gelatina nanofibrosa
- Nanotubos de carbono de pared simple
- Plaquetas sintéticas basadas en nanopartículas funcionalizadas con Arg-Gly-Asp

Nanopintura Antimicrobiana

La infección articular periprotésica es la complicación más grave tras la artroplastia artificial. El desarrollo de nanopintura en el implante ortopédico

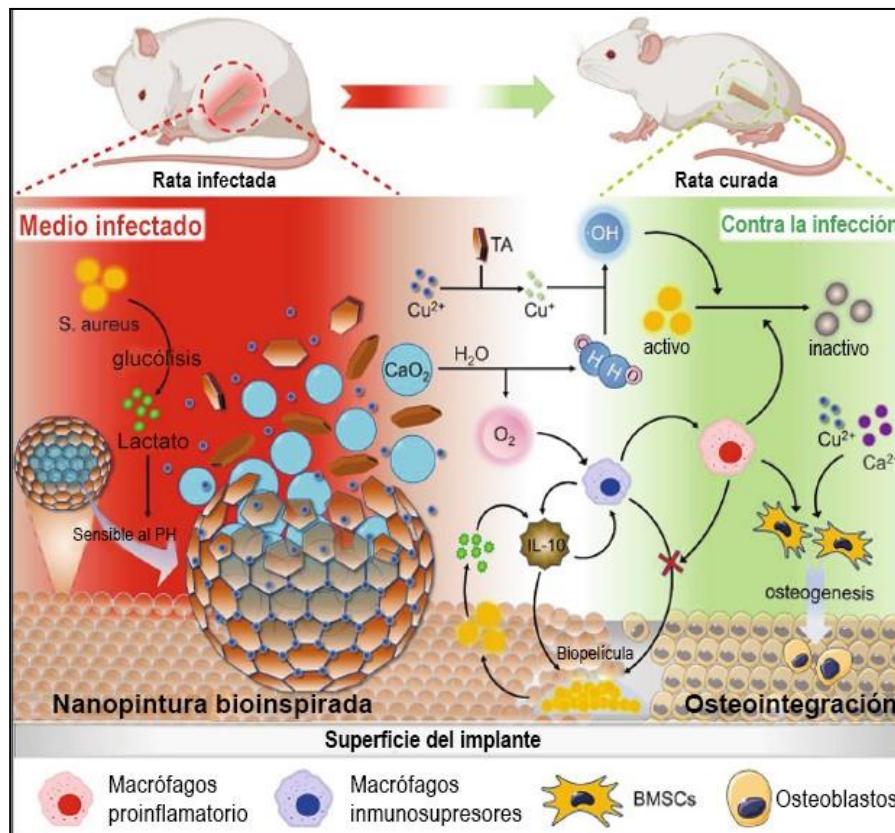
Figura 10: Esquema representativo de resistencia a la nanotecnología antimicrobiana.

Fuente: Tomada con fines académicos de Wu Z, Chan B, Low J, Chu JJH, Hey HWD, Tay A. Microbial resistance to nanotechnologies: An important but understudied consideration using antimicrobial nanotechnologies in orthopedic implants. 2022. (4)

Tabla 1: Resumen de diferentes materiales hemostáticos.

Materiales	Cola de fibrina y esponja de collage (productos biológicos)	Acrilatos (productos sintéticos)	Hemisferios de polisacáridos microporosos	Celulosa oxidada
Origen	Origen animal	Origen químico	Origen botánico	Origen botánico
Mecanismo	Simula la coagulación endógena	Sellado mecánico	Sellado mecánico y simulación de coagulación endógena	Simula la coagulación endógena
Tiempo de trabajo	5-10 minutos	5-10 minutos	Algunos segundos	5-10 minutos
Resistencia del adhesivo	Alto	Alto	Muy alta	Alto
Degradación/Absorción	2-6 meses	Ninguno	3-5 días	2-6 meses
Efecto hemostático	Aceptable	Aceptable	Muy bueno	Aceptable
Riesgo de infección por virus	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Histocompatibilidad	Alto	Bajo	Muy alta	Alto
Toxicidad de los productos de degradación	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
Efectos secundarios	Reacciones inmunológicas, alergias y otras enfermedades de origen animal	Reacciones alérgicas y formación local de induración	No se ha informado de ello	La descomposición de los productos ácidos puede afectar a tejidos como los nervios

Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de Sun H, Lv L, Bai Y, Yang H, Zhou H, Li C. Nanotechnology-enabled materials for hemostatic and anti-infection treatments in orthopedic surgery. 2018. (3)

Figura 11: Ilustración esquemática de la nanopintura sobre implantes ortopédicos en un modelo de rata para artroplastia.

Fuente: Tomada con fines académicos de *Zhang S, Chai Q, Man Z, Tang C, Li Z, Zhang J. Bioinspired nano-painting on orthopedic implants orchestrates periprosthetic anti-infection and osseointegration in a rat model of arthroplasty. 2022.* (7)

es eficaz para combatir la infección bacteriana e impulsar la osteointegración. La nanopintura tiene como objetivo evadir la infección de la articulación periprotésica y fomentar la osteogénesis peri-implante. En general, la nanopintura provee un rumbo para la prevención de la infección articular periprotésica y la osteointegración de los pacientes sometidos a artroplastia artificial. (4,7)

Datos tomados de estudios en ratas demostraron que la nanopintura previno de manera significativa la infección articular periprotésica y promovió la osteogénesis del implante por medio de la interrupción del medio inmunosupresor. Por consiguiente, la tecnología de nanopintura puede conceder un enfoque funcional para orquestar la prevención de la infección articular periprotésica y la osteointegración en pacientes que se someten a una artroplastia artificial. (7)

Los implantes ortopédicos representan más del 90 % de los procedimientos ortopédicos, siendo la infección relacionada con implantes ortopédicos es una de las complicaciones más graves debido a que puede provocar consecuencias mortales. Los antibióticos tradicionales aún tienen problemas de efectividad y factibilidad. No llegan al sitio de la infección ósea y no son efectivos en las biopelículas,

lo que lleva a resultados de tratamiento subóptimos. (21)

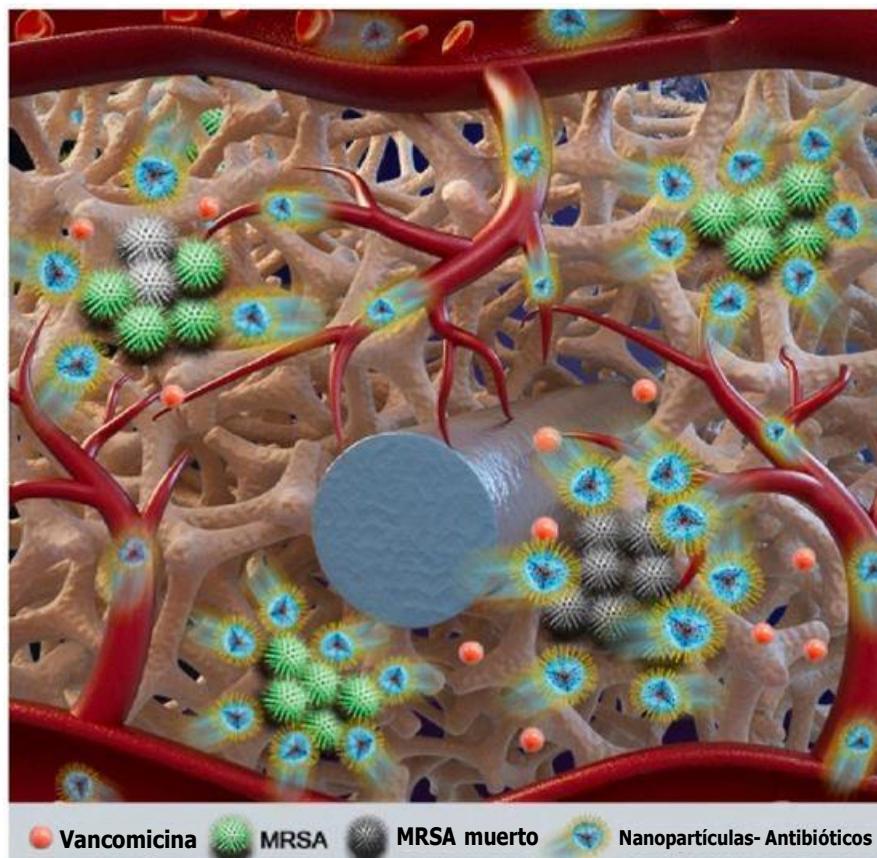
Los resultados de estudios demostraron que las nanopartículas de sílice exhiben una excelente eficacia, biocompatibilidad y propiedades antibacterianas efectivas in vitro. En un modelo de ratas de infección relacionada con implantes ortopédicos con *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina, el crecimiento de bacterias se inhibió evidentemente sin citotoxicidad, realizando así un tratamiento temprano de la infección relacionada con implantes. (21)

Materiales de innovación y aplicación tridimensional

Materiales metálicos de impresión 3D

Los metales, la cerámica y los polímeros se encuentran entre los muchos materiales de impresión 3D disponibles actualmente. Los implantes internos se usan comúnmente en la cirugía de columna y los implantes internos impresos en 3D están hechos principalmente de metal y biomateriales. Normalmente se utilizan acero inoxidable, aleación de cromo-cobalto, titanio y otros metales. El acero inoxidable tiene un menor contenido de carbono,

Figura 12: Ilustración grafica de zona de distribución ósea frente a diferentes elementos anti-microbianos (*Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina) MRSA.



Fuente: Tomada con fines académicos de Nie B, Huo S, Qu X, Guo J, Liu X, Hong Q, et al. *Bone infection site targeting nanoparticle-antibiotics delivery vehicle to enhance treatment efficacy of orthopedic implant related infection*. 2022. (21)

así como una mejor compatibilidad mecánica y biológica. Sin embargo, también es quebradizo por lo tanto, es más probable que falle bajo estrés fisiológico. La aleación de cobalto-cromo es una aleación de alta temperatura compuesta de Co y Cr, con alta resistencia a la corrosión, resistencia a la fatiga y límite elástico. (1,26,41)

Se han desarrollado nuevos métodos para fabricar implantes de titanio altamente porosos, como la tecnología de fusión por haz de electrones. Este método combina la ductilidad del titanio con las propiedades altamente integradas de una superficie porosa. La tecnología de fusión por haz de electrones logra la máxima porosidad con un área de superficie mínima, lo que reduce el costo y el desperdicio de material. (1)

Polieteretercetona

La polieteretercetona (PEEK) es un tipo de termoplástico de elevado rendimiento usado para aplicaciones médicas. Comparativamente con otros materiales especiales el PEEK tiene buenas características, como lo es la resistencia a altas

temperaturas, resistencia a la corrosión química, resistencia a la radiación, resistencia a la hidrólisis, características mecánicas, buena auto-lubricación y simple procesamiento. (6,24)

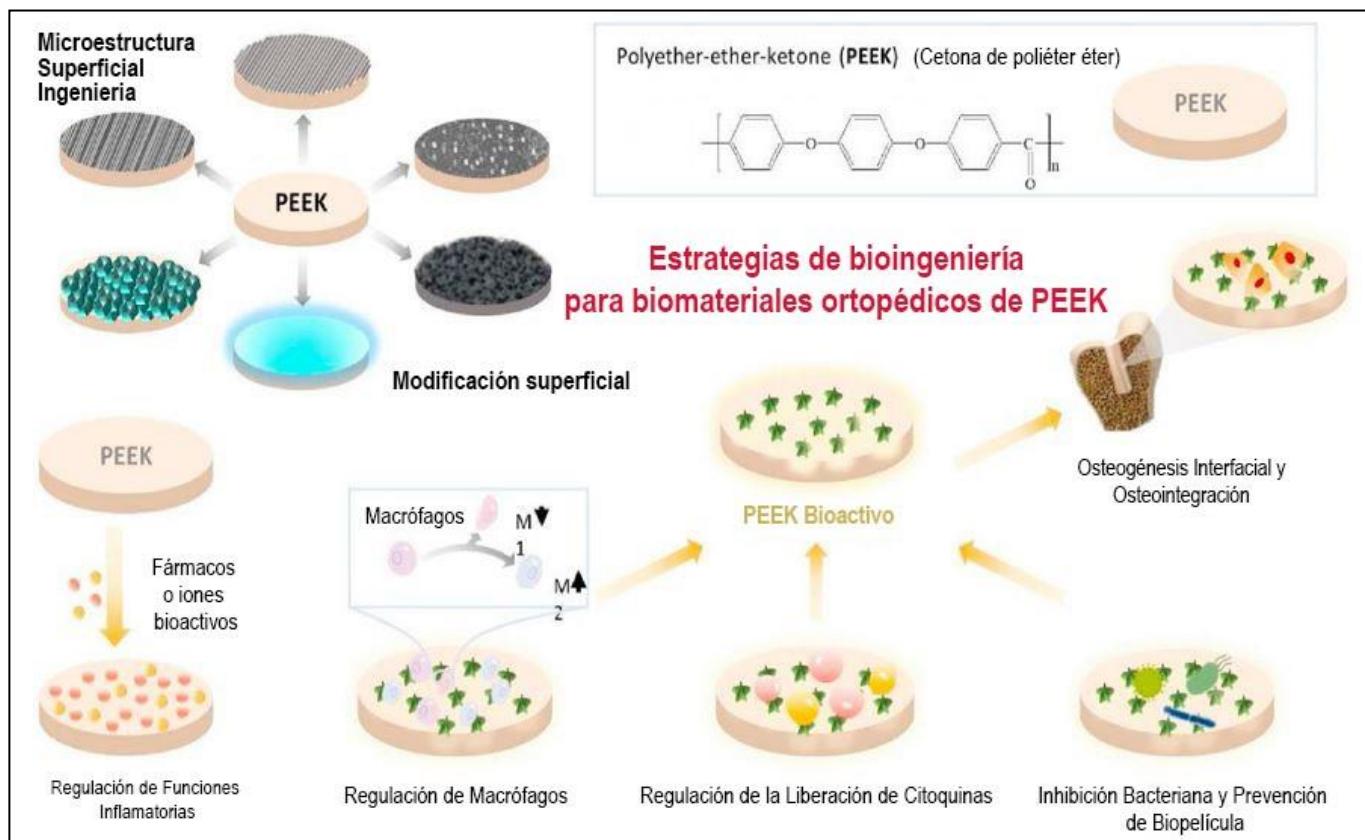
Estudios han demostrado que el PEEK no es tóxico, lo que evita el daño a los tejidos o células así mismo no hay reacción granulomatosa a cuerpo extraño ni reacción inflamatoria evidente después de la implantación, sin embargo tiene ciertas limitaciones como lo es la inercia y su elevada superficie hidrofóbica. Estos factores pueden provocar una mala osteointegración y limita la estabilidad a largo plazo del implante. (6)

Tecnología de realidad aumentada, virtual y mixta con aplicación clínica

- Realidad virtual

Inmersión por completo en un entorno artificial generado por ordenador. El sistema también puede generar sonidos artificiales y otros estímulos, y las aplicaciones se limitan a la planificación preoperatoria, la educación del paciente y la

Figura 13: Ilustración esquemática de las estrategias actuales de bioingeniería para biomateriales ortopédicos de polieteretercetona PEEK.



Fuente: Tomada con fines académicos de Yin W, Chen M, Bai J, Xu Y, Wang M, Geng D. *Recent advances in orthopedic polyetheretherketone biomaterials: Material fabrication and biofunction establishment*. Smart Materials in Medicine. 2022. (6)

capacitación en el hogar. (20)

- Realidad aumentada

La realidad aumentada se utiliza para ofrecer al cirujano ortopédico datos de imágenes elaboradas por computadora en tiempo real, de modo que los objetos de la vida real se combinen con imágenes generadas por computadora. La realidad aumentada se ha aplicado a un amplio espectro de procedimientos ortopédicos, como la resección de tumores, la fijación de fracturas, la artroscopia y la alineación de componentes en la artroplastia articular total. (8)

La pantalla digital se superpone a la superficie del mundo real, lo que permite percibir la profundidad. Ahora disponible para teléfonos inteligentes y plataformas de visualización montadas en la cabeza. Aplica en la planificación preoperatoria, el asesoramiento intra-operatorio y la formación de residencia. (20)

- Realidad mixta

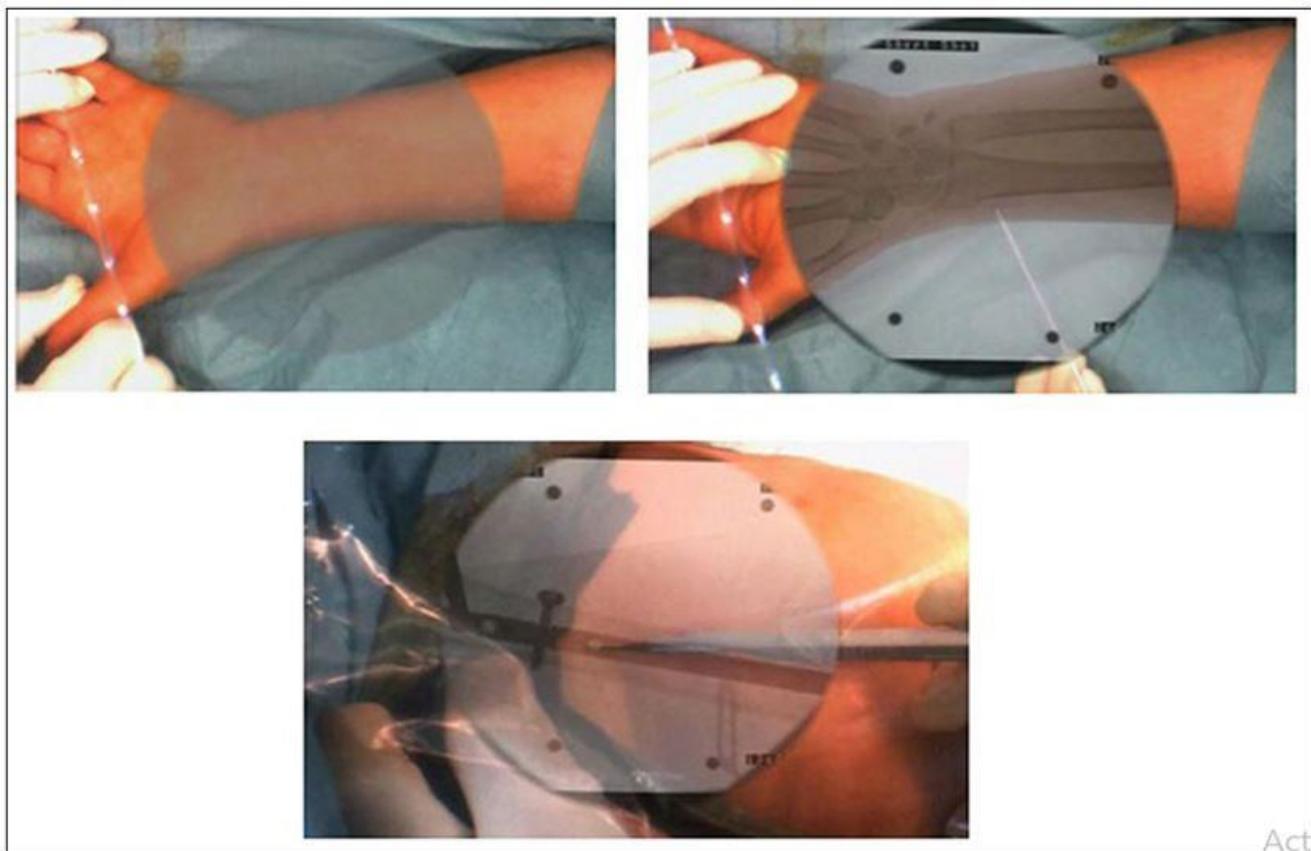
Una superposición de pantalla digital combinada con un holograma que se muestra de forma

interactiva. Los usuarios ven el mundo real manipulando el contenido digital generado por el dispositivo. El contenido digital se puede controlar más libremente respondiendo a comandos verbales y gestos. Uso en planificación preoperatoria, guía intraoperatoria y entrenamiento en el hogar. (20)

Si bien la realidad aumentada es una tecnología que permite a los cirujanos visualizar imágenes superpuestas digitalmente en el campo quirúrgico, la realidad mixta podría ser, en última instancia, una tecnología de realidad práctica y efectiva, lo mejor para los cirujanos, ya que permite un control libre sobre la reconstrucción de imágenes, la planificación preoperatoria y la planificación quirúrgica. (20)

Se ha demostrado que la capacidad de visualizar los datos del paciente en tiempo real, mejorar la planificación preoperatoria y aumentar la exactitud y precisión de los procedimientos se traduce en resultados y calidad del tratamiento. El modelo digital tridimensional puede mejorar la eficiencia del trabajo de la quiropráctica y resolver los problemas de seguridad y almacenamiento de datos. Sin embargo, los problemas de costo y disponibilidad se pueden evitar en el futuro a medida que ingresen al mercado dispositivos más baratos. (20,42)

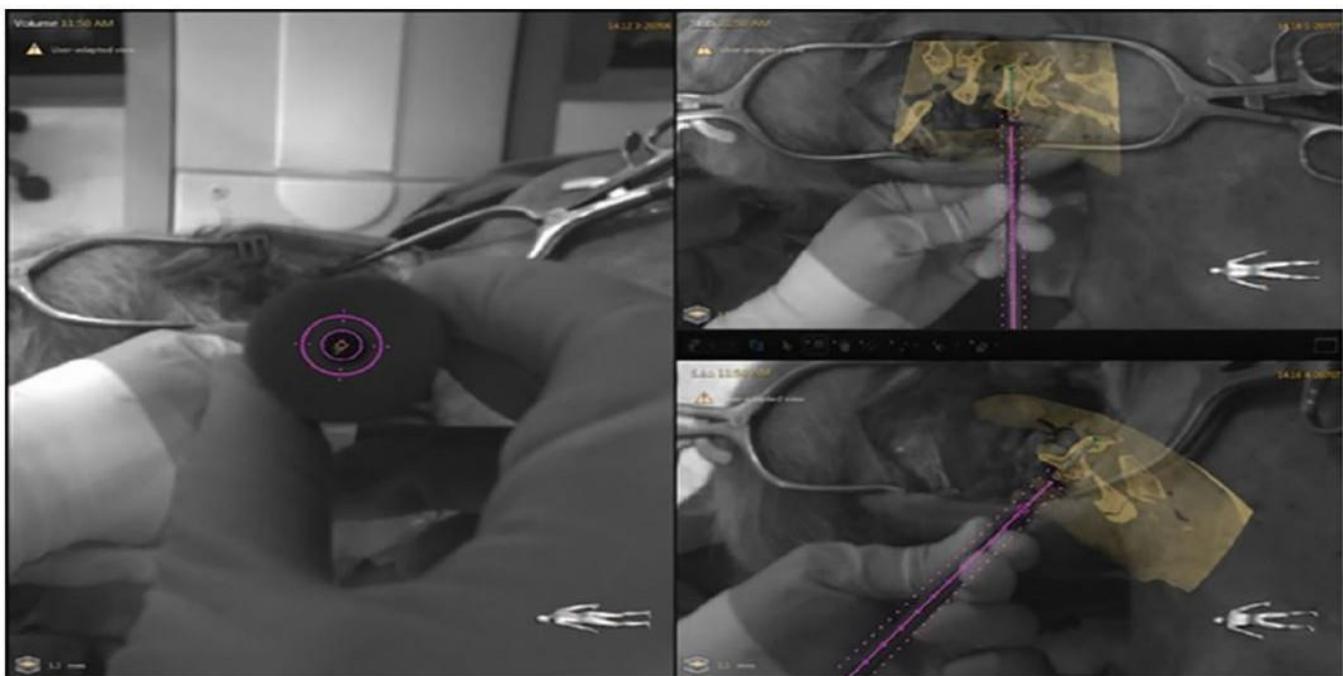
Figura 14: Realidad aumentada en cirugía ortopédica, imagen intraoperatoria en cirugía de muñeca y enclavado intramedular de bloqueo distal.



Act

Fuente: Tomada con fines académicos de Chytas D, Malahias M-A, Nikolaou VS. *Augmented reality in orthopedics: Current state and future directions*. Front Surg. 2019. (8)

Figura 15: Terapia mínimamente invasiva de tornillos pediculares con navegación basada en realidad aumentada.



Fuente: Tomada con fines académicos de Duan X, Wang B, Yang L, Kadakia AR. *Applications of 3D printing technology in orthopedic treatment*. 2021. (20)

Figura 16: Cirujanos que utilizan programa con capacidades de realidad mixta para la artroplastia de hombro invertida.

Fuente: Tomada con fines académicos de *Duan X, Wang B, Yang L, Kadakia AR. Applications of 3D printing technology in orthopedic treatment.* 2021. (20)

Un beneficio importante de usar un simulador basado en realidad virtual para la capacitación quirúrgica es que facilita que los residentes y los cirujanos ortopédicos practiquen habilidades en una variedad de situaciones quirúrgicas. Los simuladores de realidad virtual también ayudan a evaluar las habilidades de los residentes e identificar las deficiencias de los residentes de manera temprana. (31)

Robótica y cirugía ortopédica

La robótica sanitaria es una tecnología que se ha utilizado en este campo desde finales de la década de 1980. Los primeros robots quirúrgicos que se desarrollaron se emplearon especialmente en neurocirugía en 1985 y para cirugía de cáncer de próstata en 1988. (15)

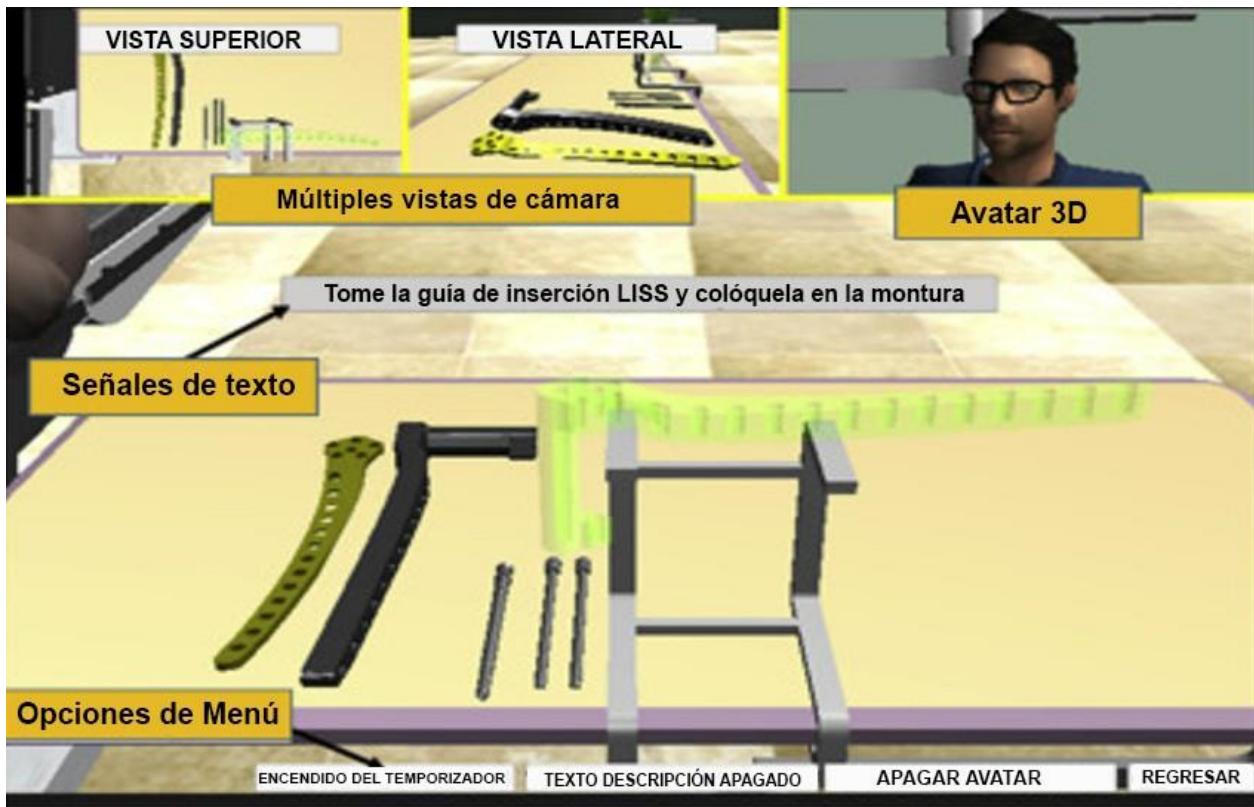
La cirugía asistida por computadora tiene como objetivo aumentar la precisión operativa y mejorar la seguridad al disminuir las complicaciones relacionadas con el procedimiento. El cirujano ortopédico en ejercicio puede planificar mejor el pre-operatorio y navegar durante el intra-operatorio sin el uso de fluoroscopia, obtener acceso a reconstrucciones tridimensionales de imágenes del paciente e interactuar de forma remota con colegas ubicados fuera del quirófano. (20)

La cirugía ortopédica asistida por computadora está siendo empleada para la planificación, simulación y navegación quirúrgica. A través de la navegación los cirujanos ortopédicos pueden rastrear con precisión y visualizar los instrumentos quirúrgicos en tiempo real, en relación con las estructuras anatómicas. (8)

La cirugía robótica se aplica mediante uso de dispositivos programables para realizar una amplia variedad de tareas quirúrgicas. No pretenden reemplazar al médico, sino proporcionarle asistencia. A diferencia de la cirugía robótica, la cirugía asistida por navegación no utiliza dispositivos programables. En cambio, proporciona una interfaz a través de la cual el cirujano recibe información sobre la posición espacial de los instrumentos en el campo quirúrgico, para ayudar a su orientación y guiar el procedimiento. (15)

Los robots portátiles ofrecen funciones que son útiles para los cirujanos, como la eliminación de temblores, guía activa de posición y/o fuerza y ayuda a la reflexión/amplificación. En ortopedia, los robots de mano con guía activa ayudan al cirujano en la ejecución de cirugía predefinida en trayectorias intra-operatoriamente con alta exactitud. (5)

Figura 17: Esquema del módulo de capacitación que muestra un avatar 3D e instrucciones basadas en texto.



Fuente: Tomada con fines académicos de *Cecil J, Gupta A, Pirela-Cruz M, Ramanathan P. An IoT based cyber training framework for orthopedic surgery using Next Generation Internet technologies.* 2018. (31)

Sistemas robóticos disponibles en cirugía ortopédica

- Mako

El Mako o “Sistema Ortopédico Interactivo de Brazo Robótico” consiste en un brazo robótico diseñado para ayudar con los reemplazos totales de rodilla a través de una interfaz táctil. Este sistema robótico semiactivo deja de aserrar cuando el corte de hueso comienza a exceder los parámetros predeterminados establecidos en la planificación preoperatoria. Esto optimiza la capacidad del cirujano para reconstruir la alineación de la rodilla y proteger importantes estructuras de tejido blando, como el ligamento cruzado medial, el ligamento cruzado posterior y la arteria poplítea. (15)

- Navio

Navio PFS es un taladro robótico operado por un cirujano. Es un sistema semiactivo que no funciona a través de una interfaz táctil, sino que sigue la trayectoria del cortador en el área de navegación. Controla el contacto y la velocidad de la broca para evitar cortes óseos innecesarios mientras extiende y retrae la fresa dentro de un manguito. (15)

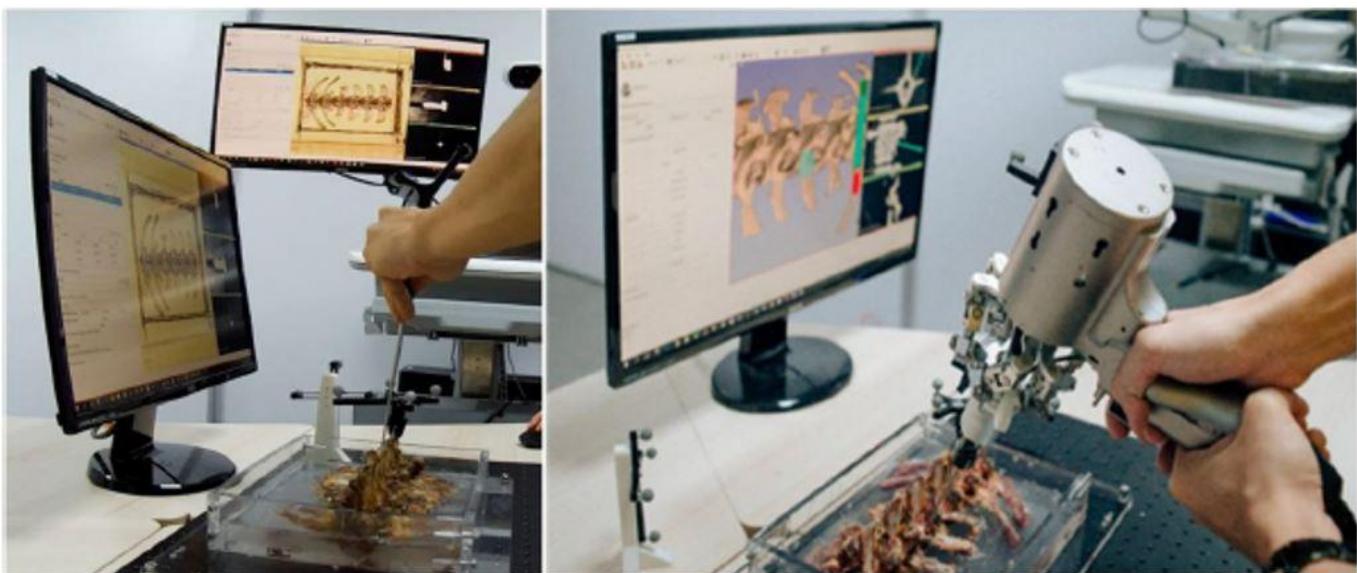
Navio PFS es un sistema disponible para el reemplazo de rodilla y para apoyar al cirujano en cortar con precisión diferentes formas. El uso de un robot ortopédico de mano busca cumplir con los siguientes requisitos: peso similar al de una pieza de mano ortopédica, supresión de temblores, resolver el problema de la fuerza artefacto y el límite del rango de movimiento. Figura 19. (5)

IBlock

Se trata de una guía de corte motorizada que lleva al cirujano a realizar cortes femorales con precisión, siguiendo un plan preoperatorio y evitando errores al utilizar una sierra oscilante convencional, para asegurar una alineación y un posicionamiento del implante adecuados. (15)

Robótica en el reemplazo total de rodilla

El reemplazo total de rodilla es un procedimiento quirúrgico destinado a reducir el dolor y mejorar la calidad de vida. Sin embargo, la satisfacción del paciente después del reemplazo total de rodilla varía del 75% al 89%. El sistema robótico que respalda el reemplazo total de rodilla reduce el dolor posoperatorio y mejora la colocación del

Figura 18: Imágenes de sistema robótico de mano en desarrollo.

Fuente: Tomada con fines académicos de *Hung S-S, Hsu AS-F, Ho T-H, Chi C-H, Yen P-L. A robotized handheld smart tool for orthopedic surgery.* 2021. (5)

implante en comparación con el reemplazo total de rodilla convencional. La tecnología robótica es una herramienta valiosa que puede reducir las complicaciones quirúrgicas y reducir el riesgo de falla del implante. (11,15)

El primer sistema robótico disponible para artroplastia total de cadera y rodilla fue *Robodoc* en 1992. El objetivo de la artroplastia de rodilla robótica es proporcionar a los cirujanos una herramienta para cortar con precisión regiones tibiales y femorales para restaurar la rodilla planificada pre-operatoriamente. (15)

La cirugía robótica de rodilla está ganando cada vez más atención como medida para mejorar la satisfacción del paciente. La artroplastia total robótica de rodilla proporciona a los cirujanos las herramientas para ejecutar con precisión las incisiones óseas planificadas antes de la operación y proporciona a los cirujanos información operativa útil para restaurar la cinemática de la rodilla y el equilibrio de los tejidos blandos. (11,15)

Las investigaciones muestran que realizar una cirugía con un brazo robótico puede mejorar la recuperación y reducir el alta hospitalaria en pacientes que se someten a una cirugía de reemplazo total de rodilla. Sin embargo, en muchos estudios, ambas técnicas quirúrgicas tuvieron resultados funcionales similares a los 6 meses y 1 año. (11)

En una encuesta realizada sobre cirugía ortopédica robótica, la mayoría de los encuestados creía que la cirugía robótica funcionaba mejor (69 %), tenía menos complicaciones (69 %) y era menos

dolorosa que los métodos manuales tradicionales (59 %) y una recuperación más rápida (62 %). (13)

Cirugía ortopédica oncológica

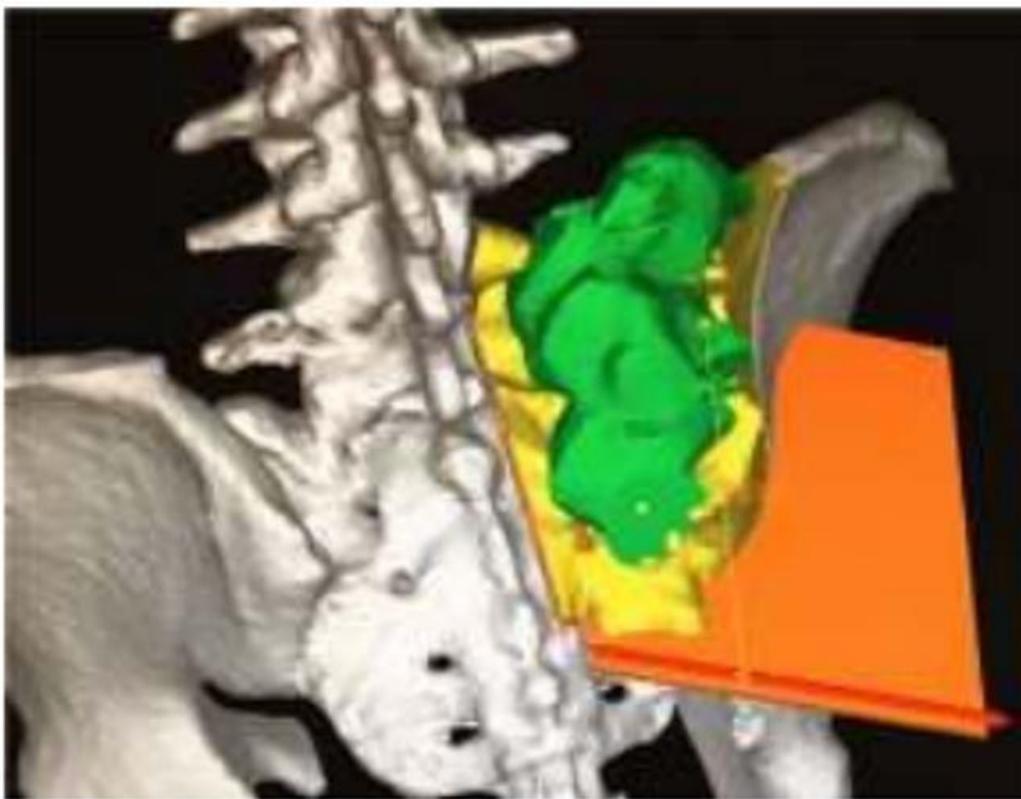
La cirugía controlada por ordenador se ha convertido en una herramienta útil, se trata de crear un plan virtual tridimensional mediante el procesamiento de imágenes de tomografía computarizada e imágenes de resonancia magnética. Debido a la correspondencia entre esta escena virtual y la anatomía real del paciente, se pueden recrear planos en la escena quirúrgica. Esta técnica permite una mayor precisión a la hora de realizar osteopatía en zonas difíciles como la pelvis, minimizando la resección innecesaria de tejido sano manteniendo unos límites tumorales adecuados. (25)

Parte de la dificultad en la cirugía ortopédica del cáncer es que el cirujano integre imágenes tumorales 2D pre-operatorias con escenarios del mundo real que requieren localización 3D. Esto significa una planificación cuidadosa antes de la cirugía y repetir este plan durante la cirugía. La realización de manipulaciones osteopáticas en áreas anatómicas difíciles es un procedimiento de dificultad por los problemas de visualización directa en la cirugía oncológica tradicional. (25)

Innovación de tecnología en prótesis y ortesis

Para la realización de prótesis inteligente se combina diferentes ciencias como la bioingeniería, la cibernetica, la robótica y la mecatrónica. Las prótesis electro-mecánicas son prótesis eléctricas

Figura 19: Reconstrucción tridimensional de tumor óseo de sacro sobre hueso sano y osteotomías planificadas a partir de imágenes peroperatorias del tumor y hueso sano.



Fuente: Tomada con fines académicos de Bahamonde Muñoz L, García-Huidobro G, Laso Errázuriz JI, Diaz Tocornal D, Alegría Fuentes C, Ritacco LE. Cirugía asistida por computador en tumores óseos. Principios generales. 2016. (25)

que funcionan a través de un control electromecánico, lo que significa que los músculos pueden contraerse o flexionar. La implementación de la prótesis electromecánica mediante biotecnología e impresión 3D fue desarrollada en Colombia inicialmente por ingenieros de la Universidad Nacional de Colombia. Sin embargo, en el campo de las prótesis inteligentes es muy poco conocido el mercado colombiano. (12,40)

Las ventajas de fabricar dispositivos ortopédicos en tecnología 3D (como columna vertebral, rodillera, muñequera, tobillera, almohadillas, etc.) Es un montaje y producción más rápida. Los pacientes a menudo informan que se sienten más cómodos con las almohadillas protésicas impresas que con las almohadillas tradicionales hechas a mano. (40)

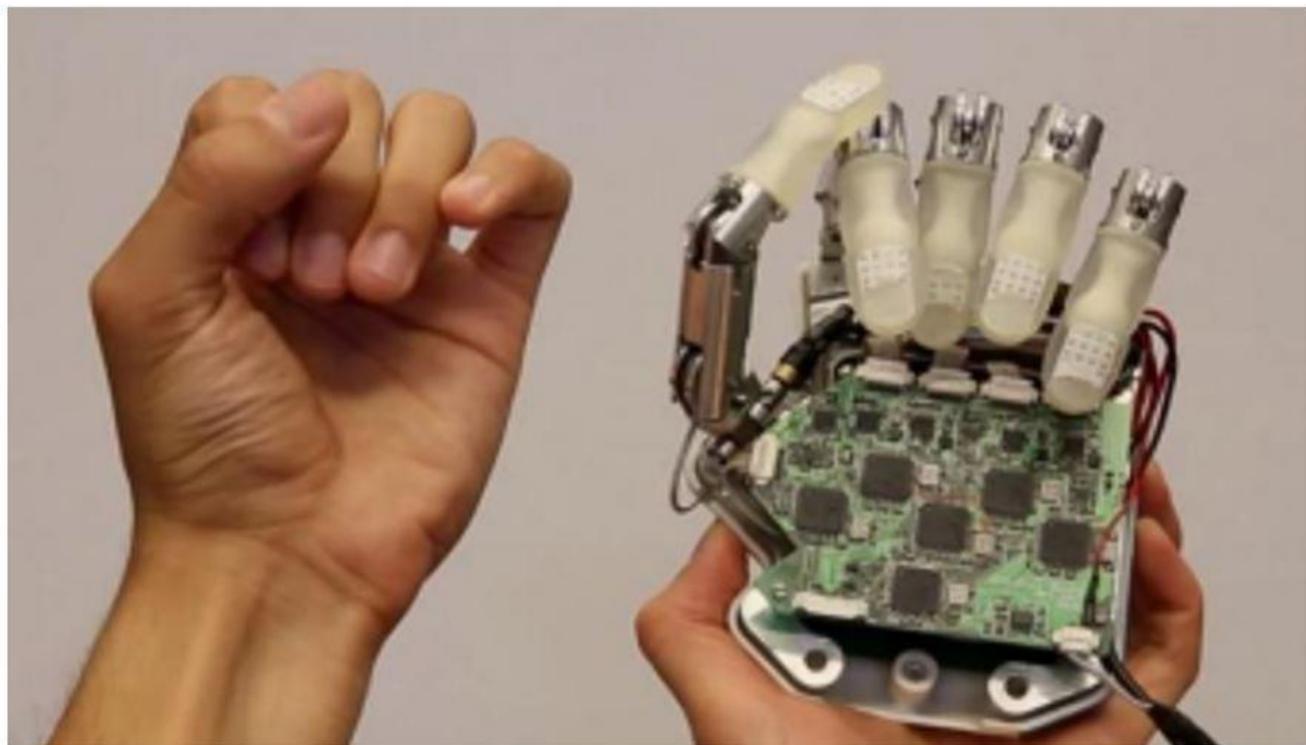
Las ortesis realizadas por fabricación aditiva incluyen un menor costo, una modificación más fácil y una vez que finaliza el proceso de diseño, una fabricación más rápida. Los pacientes suelen sentirse más cómodos con encajes protésicos hechos con máquinas tridimensionales que con los clásicos hechos a mano. La tecnología de fabricación aditiva se ha utilizado para ayudar en la fabricación de ortesis en varias situaciones:

aparatos ortopédicos para la columna, ótesis de rodilla, ótesis de tobillo y pie, ótesis de muñeca y mano, ótesis de pie, para el alivio del dolor crónico o para lesiones de nervios periféricos. (16)

Uso de tecnología tridimensional en ortesis para escoliosis

Se ha implementado la creación de ortesis para escoliosis mediante el uso de tecnología tridimensional, el proceso de fabricación ortopédica incluye 4 etapas: escaneo 3D del cuerpo del paciente con software especializado, planificación de la escoliosis ortopédica de acuerdo con la curva de la imagen escaneada a partir de la toma de imágenes digitales de la columna vertebral anterior y posterior; producción de un molde individualizado del tronco con la corrección propuesta con tecnología y por último la fabricación de la ortesis en polipropileno utilizando el molde como base. La férula tridimensional demostró una buena capacidad para la corrección inmediata de las curvas en los pacientes frente al tratamiento ortésico conservador. (12)

Figura 20: Diseño preliminar de prótesis electromecánicas NEBIAS.



Fuente: Tomada con fines académicos de Marcela L, García R, Solangel M, Robles R. La revolución tecnológica: los ciborgs. (12)

Figura 21: Órtesis personalizada impresa en 3D utilizada en la displasia de cadera del desarrollo.



Fuente: Tomada con fines académicos de Ejnisman L, Gobbato B, de França Camargo AF, Zancul E. *Three-dimensional printing in orthopedics: From the basics to surgical applications*. 2021. (16)

Recubrimiento biomimético para implantes ortopédicos

El proceso de recubrimiento biomimético es una de las tecnologías más versátiles desarrolladas para recubrir diferentes superficies de implantes ortopédicos. Las superficies de los implantes ortopédicos deben ser bioactivas para generar la integración ósea. Utilizando un recubrimiento biomimético para depositar apatita similar al hueso (fósfato de calcio) en la superficie del implante, esto hace que el implante sea más bioactivo y por lo tanto, facilita la osteointegración. (30)

Debido a su amplia biocompatibilidad, el desarrollo de recubrimientos de fósfato de calcio sobre sustratos poliméricos ha cobrado gran importancia. Algunas de las técnicas utilizadas son la biomimética, el recubrimiento por pulverización, la exoneración por láser, el acoplamiento y la deposición a baja temperatura. Sin embargo, el tratamiento previo de la capa base es un requisito básico para la modificación de la superficie antes de aplicar la capa final. (30)

Tecnología portátil en ortopedia

Actualmente, la cirugía ortopédica busca utilizar tecnología de punta en dispositivos portátiles para optimizar la atención y la eficiencia del paciente. La integración de la tecnología en la ortopedia puede agilizar la comunicación médico-paciente, reduciendo potencialmente la carga de los crecientes costos de atención médica y el agotamiento de los registros de salud electrónicos. (2)

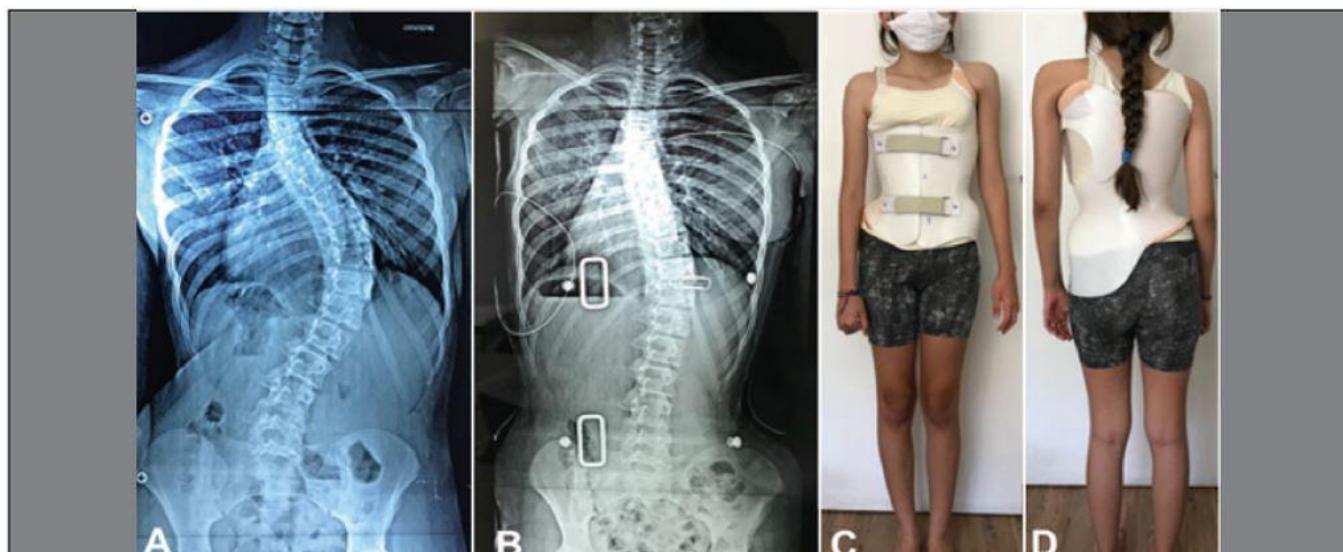
Los dispositivos portátiles permiten a los cirujanos ortopédicos monitorear de forma remota el progreso quirúrgico de un paciente, incluido el período posoperatorio y el regreso a las actividades diarias. Estos dispositivos también identifican el índice de masa corporal (IMC); Un IMC alto está asociado con un mayor riesgo de ciertas complicaciones después de la cirugía o que requieren una intervención ortopédica adicional así mismo la tecnología portátil se puede usar para mejorar el cumplimiento del paciente con los planes de tratamiento, la rehabilitación y el autocontrol en muchas otras afecciones médicas. (2,29)

Ejemplos de este tipo de tecnología son el Lumo Run el cual es un sensor que se coloca dentro de los pantalones para monitorear "la cadencia, el frenado, el rebote, la rotación pélvica, el tiempo de contacto con el suelo y la longitud de la zancada". Así mismo 3D Labs Footlogger utiliza sensores de presión que identifican problemas en la marcha y prevenir caídas durante el esfuerzo físico. Esta monitorización remota de los datos de los pacientes es promisoria, ya que puede entregarse de forma inalámbrica y estar disponible para los médicos, lo que permite una intervención preventiva en tiempo real y reduce los costes sanitarios. Aunque prometedora, la tecnología portátil todavía tiene algunas limitaciones. La dinámica de la edad es una barrera potencial para la integración de la tecnología portátil como una herramienta común en ortopedia. (2,31)

Tecnologías aplicadas en medicina del deporte

Los campos de la medicina y el rendimiento

Figura 22: A: Radiografía previa a la colocación de la férula, B: Radiografía inmediata posterior a la colocación de la férula, C/D: Uso aplicado de ortesis.



Fuente: Tomada con fines académicos de Freitas HODE, França LCDEM, Castilho AM, Resende RLCDE, Tavares PCM, Leal JS. *Conservative idiopathic scoliosis treatment with brace produced using 3d technology*. 2021. (43)

deportivo han experimentado un gran cambio en los últimos años, el método científico se ha vuelto cada vez más importante para los equipos y atletas. La salud física y fisiológica, la nutrición, la fatiga, la recuperación, y la prevención de lesiones son componentes clave del seguimiento científico de los atletas. (29)

Los avances tecnológicos han hecho posible que los atletas de resistencia individuales, los equipos deportivos y los médicos controlen el movimiento funcional, la carga de trabajo y los marcadores biométricos para maximizar la eficiencia, el rendimiento y minimizar las lesiones. Los sensores de movimiento incluyen podómetros, acelerómetros/ giroscopios y satélites de posicionamiento global (GPS). Los sensores fisiológicos incluyen un monitor de frecuencia cardíaca, un monitor de sueño, un sensor de temperatura y un sensor incorporado. (22)

Los atletas de élite y los equipos deportivos profesionales buscan constantemente formas de mejorar el rendimiento deportivo y obtener una ventaja competitiva en el campo. Los avances tecnológicos ofrecen nuevas formas de maximizar la salud y la seguridad de los jugadores. Durante la última década, los sistemas de análisis de movimiento y tiempo, como la digitalización por computadora, se han utilizado para medir el movimiento humano y mejorar el rendimiento deportivo. Estos dispositivos permiten medir el movimiento y la carga de un atleta

en tiempo real durante el entrenamiento. (29,36)

Existe una integración cada vez mayor en los deportes y la atención médica para monitorear las funciones y el rendimiento fisiológicos humanos durante la actividad en tiempo real. Los dispositivos portátiles que utilizan tecnología de sensores se han beneficiado de una mayor exposición en el mercado y los medios como herramientas efectivas para evaluar la actividad física en la población en general. Esto se debe a una mayor disponibilidad, costos reducidos y la proliferación de dispositivos informáticos personales, como teléfonos inteligentes y relojes digitales. (22)

Los tipos más comunes de acelerómetros son los piezoelectrónicos y de capacitancia diferencial. La combinación de GPS, acelerómetro y tecnología de medición de frecuencia cardíaca permite a una plataforma multimodal controlar y registrar la energía y las características del patrón de ejercicio durante el ejercicio. (36)

Tecnologías de análisis y medición en medicina deportiva

La biomecánica deportiva requiere el uso de sistemas especiales de análisis de imágenes para obtener datos cinéticos en 3D. El análisis de imágenes es uno de los métodos más importantes en biomecánica deportiva para analizar el movimiento

Tabla 2: Resumen de dispositivos portátiles disponibles y su mecanismo funcional.

Dispositivo portátil	Mecanismo funcional
Sensores de movimiento	
Podómetro	“Paso” registro cada instancia en la que la aceleración vertical de un brazo de palanca accionado por resorte supera el umbral de sensibilidad de la fuerza.
Acelerómetro/Giroscopio	La aceleración provoca la desviación de una masa sísmica entre 2 electrodos, provocando un cambio en la capacitancia.
GPS	Las transmisiones de señales de múltiples satélites en órbita son adquiridas por un receptor terrestre; el retraso relativo se utiliza para calcular la velocidad y la posición del receptor.
Sensores fisiológicos	
Monitor de pulso cardíaco	1. Actividad eléctrica del corazón registrada por electrodos en una correa para el pecho 2. Pulso periférico detectado por tecnología de detección óptica en una muñeca
Monitor de temperatura	1. La capsula ingerible transmite las lecturas al sistema de registro de datos externo 2. El brazalete mide el flujo de calor convectivo de la piel en temperatura
Sensores integrados	Plataformas multimodales que incorporan componentes de movimiento y sensores fisiológicos.

Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de Li RT, Kling SR, Salata MJ, Cupp SA, Sheehan J, Voos JE. *Wearable performance devices in sports medicine*. Sports Health. 2016. (22)

humano, obtener coordenadas tridimensionales de los puntos de análisis y calcular parámetros cinéticos. Se utiliza un sistema especial de análisis de imágenes para obtener datos cinéticos en 3D. Sin embargo, medir el movimiento bajo el agua es diferente de medir en tierra por lo tanto difiere por el tipo del deporte aplicado. (35)

Equipos de medición en deportes de contacto

Se estima que entre 1.6 y 3.8 millones de personas en los Estados Unidos experimentan lesiones cerebrales relacionadas con deportes o actividades recreativas cada año. Las conmociones cerebrales siguen siendo un gran problema en los deportes de contacto como el Rugby y el fútbol americano. (36)

El impacto en la cabeza y la aceleración-desaceleración pueden causar una conmoción cerebral. Conocida como la "lesión silenciosa", la conmoción son un subconjunto de lesiones cerebrales traumáticas leves que se están convirtiendo en un problema creciente en todas las actividades físicas de contacto. (34)

Los umbrales estándar para los datos de impacto en la cabeza son importantes porque con los datos de aceleración de la cabeza del jugador se pueden monitorear para determinar los umbrales acumulativos para las conmociones cerebrales secundarias. La fuerza de impacto se puede medir utilizando una variedad de técnicas (parches detrás de la oreja, protectores bucales y equipos para la cabeza). (34)

El desarrollo de dispositivos portátiles para medir la fuerza ejercida sobre la cabeza tiene aplicaciones importantes para reducir las conmociones cerebrales y así mismo reducir la incidencia de encefalopatía traumática crónica. (36)

Biomarcadores sanguíneos en medicina del deporte

En la actualidad, se utilizan diferentes métodos para realizar un seguimiento del rendimiento de los atletas. Entre ellos, los biomarcadores sanguíneos los cuales se han utilizado tradicionalmente durante más de tres décadas para monitorear el rendimiento del ejercicio. El campo de la metabólica podría proporcionar niveles de biomarcadores sanguíneos significativos en la medicina deportiva y el control del rendimiento. (29)

Una plataforma bioanalítica de alto rendimiento combinada con la potencia informática para analizar e interpretar datos permite la cuantificación de cientos de metabolitos en un solo análisis. Las áreas principales de aplicación de los biomarcadores sanguíneos son el rendimiento, la actitud física y la monitorización del sobre-entrenamiento. (29)

Dispositivos portátiles para evitar las lesiones del ligamento cruzado anterior

Los desgarros del ligamento cruzado anterior (LCA) se pueden dividir en contacto y sin contacto representando el 30% al 70% de las lesiones respectivamente. El tiempo de recuperación promedio para un atleta con un desgarro de LCA es de aproximadamente nueve meses y esto a menudo obliga a una persona a perderse una temporada completa. Actualmente, no existe un método de medición para determinar la tensión del LCA y ningún sistema que cuantificar con exactitud la tensión del LCA en un momento dado. El desarrollo de sensores portátiles que puedan medir las cargas de tensión del LCA tiene una gran demanda en deportes de contacto y rotación como el fútbol, el baloncesto y el rugby. (36)

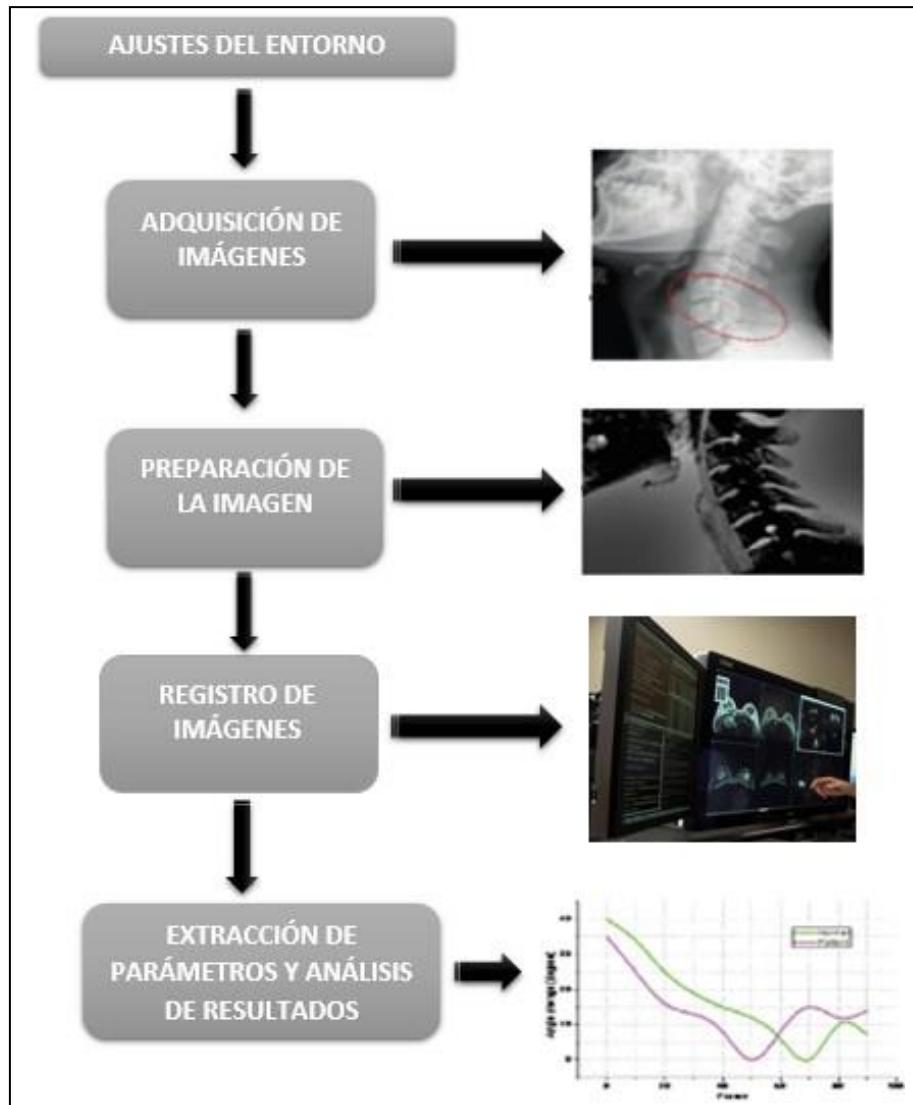
Se ha demostrado que los dispositivos portátiles son efectivos para reducir las lesiones relacionadas con los deportes y brindan a los atletas una plataforma completa para la recuperación y el entrenamiento. El desarrollo de un instrumento integral capaz de medir simultáneamente parámetros biométricos (estrés, carga y choque) y parámetros biológicamente importantes (glucosa y lactato) es necesario y podría convertirse en el próximo estándar. (36)

Tecnologías de asistencia en deportes paralímpicos

El deporte paralímpico cuenta con tecnologías de asistencia, como el uso de dispositivos y equipos. Sin embargo, las tecnologías de asistencia no sólo son equipos y dispositivos, sino también productos, recursos, metodologías y estrategias. La silla de ruedas y las prótesis siguen siendo las más relevantes, esto evidenciando la importancia implementar y aumentar las tecnológicas de asistencia en deportes paralímpicos con el fin de mejorar el desempeño de los atletas. (38)

Avances en imagenología en medicina del deporte

La espondilosis cervical se ha convertido en una enfermedad común. Hoy en día, cada vez más jóvenes sufren de espondilosis cervical. Además, los problemas de salud de la columna cervical pueden conducir fácilmente a una serie de complicaciones, como presión arterial alta, angina cervical, afectación en las extremidades. Al procesar la imagen, es posible medir los parámetros de movimiento relativos de cada cuerpo vertebral, detectar el rango de movimiento de las vértebras cervicales, evaluar si las vértebras cervicales moderadas son anormales y el riesgo después de la cirugía (27)

Figura 23: Esquema de procesamiento de imagen para estudio de la salud cervical.

Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de Jiang J. *Research on the improved image tracking algorithm of athletes' cervical health*. 2021. (27)

Revolución tecnológica en rehabilitación y fisiatría

Con el envejecimiento de la población ha aumentado el número de pacientes con afecciones ortopédicas que requieren rehabilitación o intervención quirúrgica seguida de rehabilitación. Con la creciente demanda de rehabilitación, también nacen técnicas avanzadas de recuperación. La rehabilitación ortopédica a menudo tiene como objetivo mejorar el rango de movimiento y la fuerza muscular alrededor de las articulaciones. (39)

Después de la cirugía de columna, los pacientes necesitan un período de ejercicio y rehabilitación. En esta etapa, la tecnología de impresión 3D se puede utilizar para crear dispositivos de rehabilitación personalizados que se adapten mejor a la curvatura, la posición y el tamaño personalizados de la columna vertebral, respondiendo a las diferentes necesidades patológicas del paciente y permitiendo

una reconstrucción funcional más eficiente. Los soportes impresos en 3D, también son mejores que las restauraciones tradicionales de yeso o plástico en cuanto a peso, comodidad y transpirabilidad. (26)

Otra investigación expone la producción de fármacos de liberación controlada y su uso en la fase de rehabilitación de la cirugía de columna.

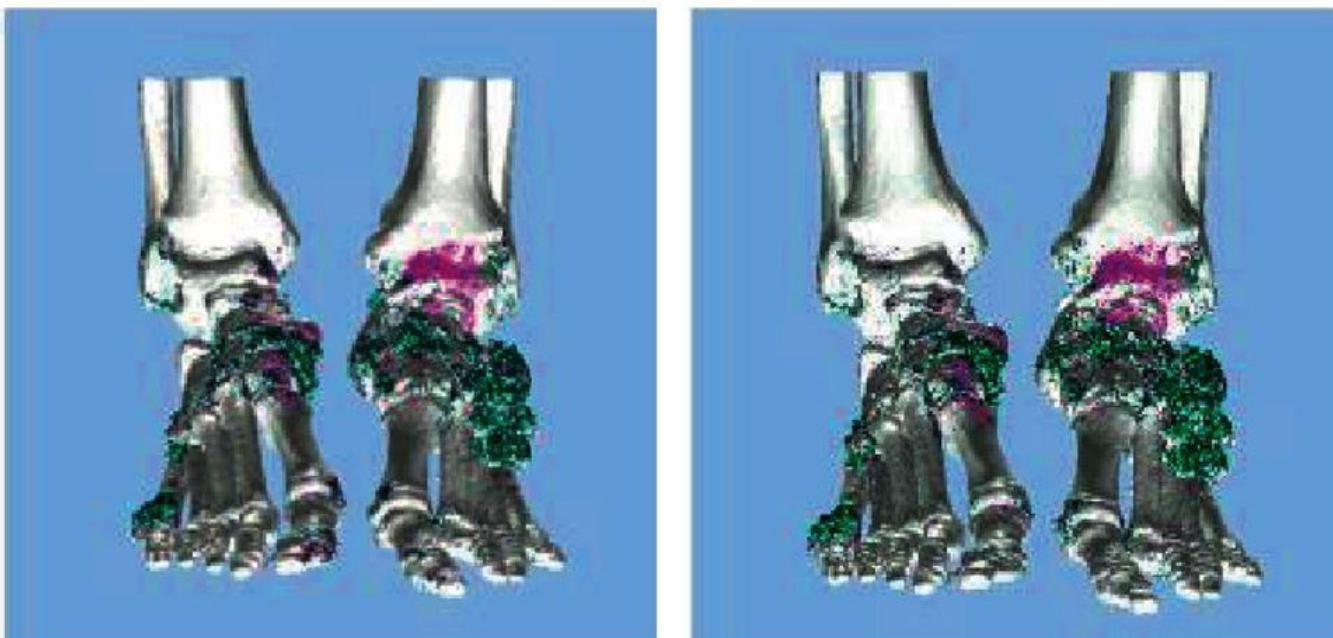
Los medicamentos de liberación controlada se administran al implante interno a través de la impresión 3D y su impacto se cuantifica directamente en la región de la columna para optimizar la reconstrucción pos-operatoria. (26)

Tecnologías de rehabilitación avanzadas

➤ Rehabilitación hospitalaria

- Movimiento pasivo continuo (CPM)

Figura 24: Imágenes de modelos tridimensionales antes y después de eliminar falsos positivos.



Fuente: Tomada con fines académicos de *Guo Y, Chen C. An orthopedic auxiliary diagnosis system based on image recognition technology*. 2021. (10)

El uso de CPM en la rehabilitación ortopédica existe desde hace más de dos décadas, comúnmente después de una cirugía ortopédica de reemplazo total de rodilla mejorando la recuperación de la flexión de la rodilla. (39)

- Sensores electromagnéticos

El sistema de sensores electromagnético es un dispositivo de medición de seis grados de libertad que registra simultáneamente; la posición y la orientación tridimensionales (3D) de múltiples sensores electromagnéticos conectados a partes del cuerpo a través de un transmisor. La desventaja es que es engorroso y no se puede usar fácilmente fuera de un laboratorio o entorno clínico. (22,39)

- Dispositivos robóticos

El sistema robótico automatizado está diseñado para registrar los movimientos del paciente, lo que permite al terapeuta analizar con precisión la eficacia de los ejercicios y realizar ajustes para una recuperación articular óptima. Los dispositivos robóticos enfrentan muchos desafíos, incluida la presión sobre el traje en ciertas áreas, la irritación de la piel, el dolor durante el ejercicio, el consumo excesivo de energía al usar el dispositivo y las altas tarifas. (36,39)

➤ **Rehabilitación en el hogar**

- Sensores de movimiento

Los sensores de inercia, como acelerómetros y giroscopios, recopilan datos de movimiento en 3D, que luego se envían a una computadora para su análisis mediante un *software*. Por lo tanto, pueden usarse para medir y evaluar con precisión los movimientos articulares del paciente durante varios ejercicios funcionales. (22)

- Software de aplicación

Hay muchas aplicaciones médicas disponibles, algunas de las cuales brindan información sobre una condición médica, anatomía, medicamentos u otros tratamientos. (39)

- Videoconferencia

Las videoconferencias pueden desempeñar un papel importante en el tratamiento de pacientes ortopédicos. Permite a los terapeutas diagnosticar, tratar y monitorear el progreso del paciente de forma remota, similar a la rehabilitación ortopédica. (39)

Otras tecnologías innovadoras con aplicación clínica

Diagnóstico asistido por computador

La tecnología de diagnóstico asistido por computador no solo optimiza la rapidez del diagnóstico sino además mejorar la exactitud de los resultados del diagnóstico evitando errores en la interpretación. La tecnología de diagnóstico asistido

por PC incluye ciencias de la computación, medicina, matemáticas, gráficos y otros conocimientos multidisciplinarios, que abarcan imágenes y modelos tridimensionales. No obstante, esta tecnología aun cuenta con limitantes como lo son los derechos de propiedad intelectual y los costos de los sistemas que no tienen la posibilidad de ser de código abierto. (10)

Aplicabilidad de teléfonos inteligentes

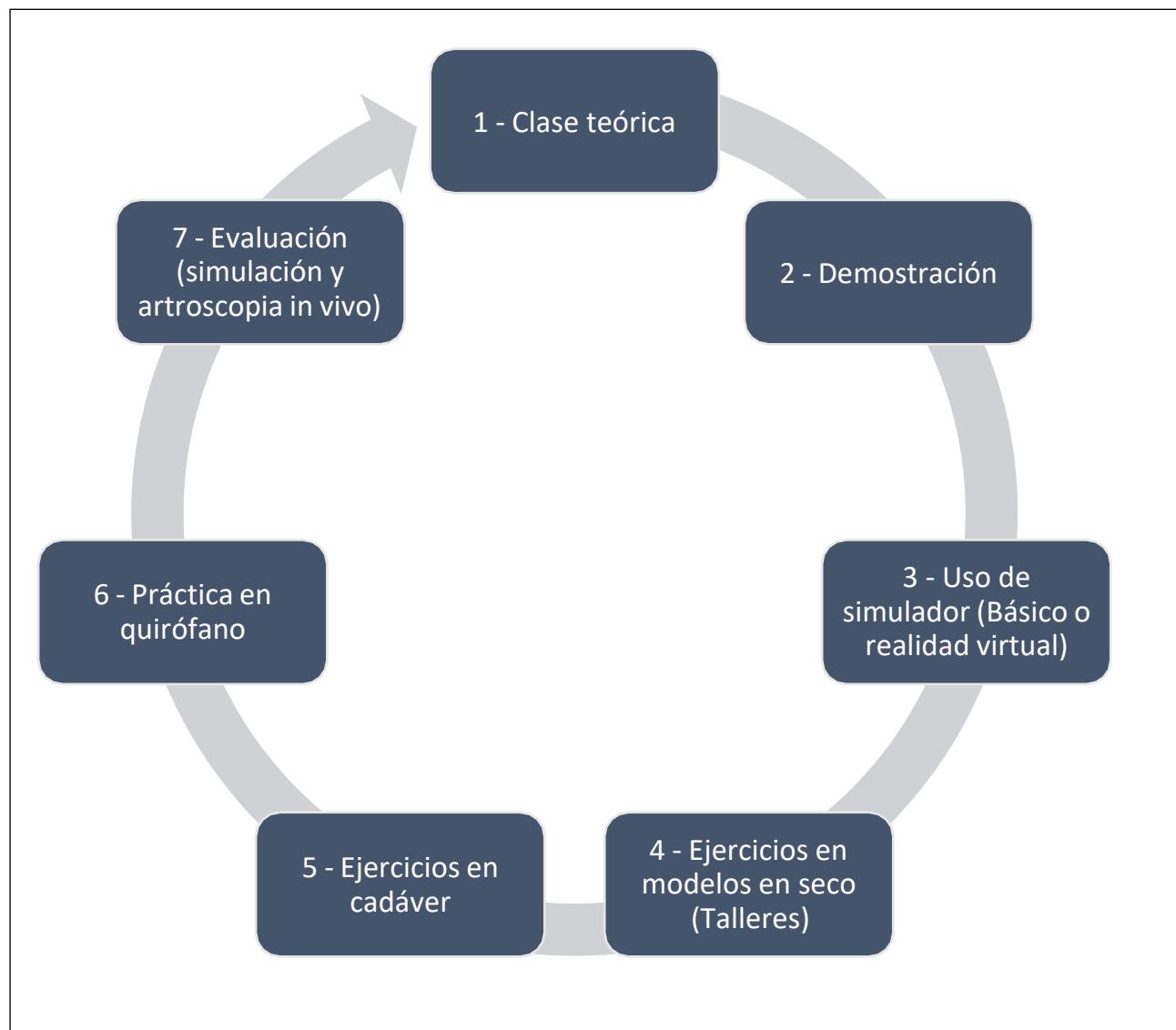
El auge de los teléfonos inteligentes ha creado nuevas oportunidades para integrar la tecnología médica con la práctica clínica. En 2015, alrededor del 90 % de los médicos del Reino Unido utilizaron este tipo de dispositivo para evaluar o tratar a los pacientes. El rápido crecimiento y desarrollo de diversas aplicaciones en los últimos años ha dado

lugar a numerosos estudios que evalúan su eficacia y beneficios clínicos. (18)

Las tecnologías de la comunicación, como las videoconferencias, se utilizan en muchas áreas de la atención médica y pueden beneficiar a los pacientes. Investigaciones anteriores sobre plataformas como *Skype* en consultas de atención médica han demostrado que es seguro, efectivo y conveniente para los pacientes cuando los profesionales de la salud lo consideran clínicamente apropiado. (45)

El sistema portátil más utilizado hasta la fecha es la tecnología de teléfonos inteligentes para medir la actividad general de un paciente. Las mayores barreras para el uso generalizado de la tecnología portátil son el costo, la efectividad y el cumplimiento del paciente. (44)

Figura 24: Siete etapas del plan de entrenamiento por simulación para residentes de artroscopia.



Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de Arroyo-Berezowsky C. Desarrollo de plan de entrenamiento con simulación de artroscopia para residentes de ortopedia. 2018. (23).

Utilidad de teléfono móvil en osteomías desrotadoras

Las osteomías desrotadoras son un método quirúrgico ortopédico común. El grado de desrotación necesario suele ser evaluado por el cirujano por medio de una estimación visual. Para evaluar el nivel de corrección, ciertos cirujanos usan clavijas divergentes. Una aplicación para teléfonos inteligentes puede permitir medir el ángulo formado entre la clavija y la guía de bloqueo de la placa llevaría a facilitar una evaluación precisa del ángulo en el plano axial por corregir. (18)

En un estudio, se realizaron mediciones entre dos clavijas divergentes colocadas en un hueso de plástico y se realizaron tres mediciones: por inspección visual, con guías metálicas estáticas y con el goniómetro digital de un teléfono inteligente. Mediante ello se evidenció que medir ángulos con un teléfono inteligente puede mejorar la exactitud y la precisión en comparación con las técnicas tradicionales. (18)

Revolución tecnología en educación médica

La educación médica ha experimentado un cambio de paradigma en las últimas décadas, principalmente la enseñanza de habilidades quirúrgicas. Las investigaciones han demostrado que las habilidades de artroscopia de los residentes mejoran después de recibir capacitación en cualquier tipo de simulador. (23)

La tecnología es capaz de crear una simulación operativa auténtica y altamente interactiva con opciones para el registro y análisis del rendimiento. Residentes entrenados con realidad virtual realizaron la cirugía más rápido, mientras que los residentes sin acceso a la realidad virtual tienen más probabilidades de causar lesiones involuntarias según un estudio sobre la utilización del simulador laparoscópico. (20)

La educación de los residentes también se puede mejorar con la impresión 3D. Se evaluó cómo un modelo impreso en 3D de una fractura de calcáneo afectaría la comprensión de la fractura entre los residentes de ortopedia. Un grupo de residentes evaluó las fracturas de calcáneo y las clasificó. Luego, se les preguntó qué tan confiados estaban en la clasificación. A la mitad de ellos se les mostró un modelo impreso en 3D y a la otra mitad se les mostró una tomografía computarizada en 3D. La confianza de los residentes y la precisión percibida fueron mayores en los casos con modelos impresos en 3D. (16)

Las limitaciones en la implementación de programas de capacitación incluyen: no hay simuladores ni infraestructura para importarlos, almacenarlos y mantenerlos. También hay problemas

logísticos. Otra dificultad es la falta de voluntad y persistencia para cambiar y capacitar a los docentes del curso, a los médicos designados y a las propias personas para permitir la práctica y ser evaluados en el cumplimiento del programa de capacitación. (23)

Discusión

En la última década se han dado grandes avances tecnológicos en medicina, estos han llevado a generar nuevas alternativas diagnósticas, de seguimiento, tratamiento, rehabilitación y educación en ortopedia, medicina del deporte y fisiatría. El área de ortopedia ha sido una de las más beneficiadas por esta serie de avances, uno de estos es la fabricación aditiva que mediante la fabricación de piezas a partir de un modelo 3D permite diversas aplicabilidades ya sea como estimación pre-operatoria, ayuda quirúrgica y generación de diferentes tipos de prótesis y ortesis personalizadas, la aplicación de este método de fabricación para construcción tridimensional ya sea con técnica de estereolitografía, sintonización selectiva por láser o modelado por deposición fundida, genera mejores resultados tanto en acoplamiento, uso y calidad de vida del paciente.

Los nuevos materiales para uso médico tienen una vertiente de desarrollo y crecimiento exponencial llevando a ofrecer mayor uso clínico, entre ellos la nanotecnología ha presentado idoneidad en tratamientos hemostáticos y de infección en la cirugía ortopédica, mediante propiedades físico-químicas graduables, los nanomateriales pueden inducir la eliminación innata de bacterias e influir en la composición del sistema de coagulación generando hemostasia. Otros materiales como la nanopintura, el polieteretercetona se presentan como materiales multivariantes y de nuevo uso.

La realidad virtual, aumentada y mixta mediante su aplicación en cirugía asistida por computadora evidencia que la capacidad de visualizar datos del paciente en tiempo real, mejora la planificación pre-operatoria y optimiza la exactitud y precisión de los procedimientos ortopédicos, esto llevando a mejorar la seguridad del paciente al minimizar las complicaciones relacionadas con el procedimiento.

Los atletas profesionales y equipos deportivos buscan asiduamente mejorar el rendimiento, la condición física y generar un proceso de rehabilitación más eficaz, por lo tanto la medicina deportiva y fisiatría mediante la integración de nuevos avances tecnológicos como podómetro, acelerómetro/giroscopio, GPS, monitor de pulso cardíaco, monitor de temperatura, sensores integrados, biomarcadores sanguíneos, permite analizar los movimientos funcionales, la carga de trabajo y los marcadores biométricos para impulsar la eficiencia, el rendimiento, minimizar las lesiones

en los atletas y mejorar técnicas de recuperación.

Estas nuevas tecnologías a pesar de sus altas expectativas en el campo médico, aun cuentan con ciertas limitantes para su aplicación, implementación e innovación, entre estos encontramos su alto costo en infra-estructura, ejecución y obtención de materia prima, dado en parte por un desequilibrio económico debido a un mayor capital de productos con tecnologías más económicas. Otros limitantes son; la capacitación de los profesionales en salud para aplicar estas nuevas tecnologías se debe adquirir casi siempre en el extranjero, ciberataques a dispositivos portátiles, la selección de casos útiles y su eficacia. Por último, el deterioro del concepto "médico" como pieza angular de la clínica y los procedimientos quirúrgicos.

Conclusión

La revolución tecnológica en ortopedia, medicina deportiva y fisiatría ha presentado un progreso exponencial a lo largo de los últimos años, mediante la integración de diferentes áreas multidisciplinarias se ha implementado nuevas herramientas como lo son la fabricación aditiva, la cirugía robótica, la realidad virtual, aumentada y mixta, la nanotecnología y los dispositivos portátiles y biomarcadores, entre otras, conllevando a potencializar y mejorar las posibilidades diagnósticas, de tratamiento y rehabilitación en los pacientes, de igual modo como una herramienta educativa para futuros especialistas y complemento analítico para equipos deportivos y atletas.

Por lo tanto, conocer la creación, propiedades, tipos, uso, aplicaciones y limitantes de estas nuevas tecnologías en ortopedia, medicina del deporte y fisiatría por parte del personal de la salud y ciencias afines, permite dar nuevas oportunidades que conllevan a mejores resultados en los pacientes dando como efecto una mejoría en la calidad de vida, igualmente estimulando el área de conocimiento científico en medicina. No obstante, al día de hoy este tipo de tecnología cuenta con ciertas limitantes como lo es su costo en implementación e innovación, la capacitación a profesionales, su eficacia y selectividad de uso.

Bibliografía

- Pardo F, Bordini B, Castagnini F, Giardina F, Faldini C, Traina F. Are powder-technology-built stems safe? A midterm follow-up registry study. *J Mater Sci Mater Med* [Internet]. 2021;32(1):10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10856-020-06481-8>
- Zarowin J, Warnick E, Mangan J, Nicholson K, Goyal DKC, Galetta MS, et al. Is wearable technology part of the future of orthopedic health care? *Clin Spine Surg* [Internet]. 2020;33(3):99–101. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30688678/>
- Sun H, Lv L, Bai Y, Yang H, Zhou H, Li C, et al. Nanotechnology-enabled materials for hemostatic and anti-infection treatments in orthopedic surgery. *Int J Nanomedicine* [Internet]. 2018;13:8325–38. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2147/IJN.S173063>
- Wu Z, Chan B, Low J, Chu JJH, Hey HWD, Tay A. Microbial resistance to nanotechnologies: An important but understudied consideration using antimicrobial nanotechnologies in orthopaedic implants. *Bioact Mater* [Internet]. 2022;16:249–70. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452199X2200081>
- Hung S-S, Hsu AS-F, Ho T-H, Chi C-H, Yen P-L. A robotized handheld smart tool for orthopedic surgery. *Int J Med Robot* [Internet]. 2021;17(5):e2289. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34036711/>
- Yin W, Chen M, Bai J, Xu Y, Wang M, Geng D, et al. Recent advances in orthopedic polyetheretherketone biomaterials: Material fabrication and biofunction establishment. *Smart Materials in Medicine* [Internet]. 2022;3:20–36. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590183421000417>
- Zhang S, Chai Q, Man Z, Tang C, Li Z, Zhang J, et al. Bioinspired nano-painting on orthopedic implants orchestrates periprosthetic anti-infection and osseointegration in a rat model of arthroplasty. *Chem Eng J* [Internet]. 2022;435(134848):134848. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894722003552>
- Chytas D, Malahias M-A, Nikolaou VS. Augmented reality in orthopedics: Current state and future directions. *Front Surg* [Internet]. 2019;6:38. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fsurg.2019.00038>
- Duan X, Wang B, Yang L, Kadakia AR. Applications of 3D printing technology in orthopedic treatment. *Biomed Res Int* [Internet]. 2021;2021:9892456. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2021/9892456>
- Guo Y, Chen C. An orthopedic auxiliary diagnosis system based on image recognition technology. *J Healthc Eng* [Internet]. 2021;2021:4644392. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34853668/>
- Batailler C, Fernandez A, Swan J, Servien E, Haddad FS, Catani F, et al. MAKO CT-based robotic arm-assisted system is a reliable procedure for total knee arthroplasty: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2021;29(11):3585–98. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32975626/>
- Marcela L, García R, Solangel M, Robles R. La revolución tecnológica: los ciborgs [Internet]. Edu.co. Disponible en: <http://wiki.sc3.uis.edu.co/images/0/05/Art%C3%ADculoFinalRojasRojasRuizDML.pdf>
- Paganí NR, Moverman MA, Puzzatiello RN, Menéndez ME, Barnes CL, Kavolus JJ. Online crowdsourcing to explore public perceptions of robotic-assisted orthopedic surgery. *J Arthroplasty* [Internet]. 2021;36(6):1887–1894.e3. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883540321001662>
- Bruno G, Daniel M, Fernando MF, Sergio V. Vista de Guía práctica de planificación e impresión 3D en Ortopedia y Traumatología. Servicio de Ortopedia y Traumatología. Hospital Británico de Buenos Aires. Disponible en: <https://raaot.org.ar/index.php/AAOTMAG/article/view/1416/4445>
- Bautista M, Manrique J, Hozack WJ. Robotics in total knee arthroplasty. *J Knee Surg* [Internet].

- 2019;32(7):600–6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30822790/>
16. 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* [Internet]. 2021;14(1):1–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s12178-020-09691-3>
 17. Pérez-Mañanes R, Calvo-Haro J, Arnal-Burró J, Chana-Rodríguez F, Sanz-Ruiz P, Vaquero-Martín J. Nuestra experiencia con impresión 3D doméstica en Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hazlo tú mismo. *Rev latinoam cir ortop* [Internet]. 2016;1(2):47–53. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444972516300092>
 18. Ferreyra A, Olleac E, Masquijo JJ. Vista de Medición intraoperatoria con una aplicación para teléfono inteligente que mejorar la precisión de las osteotomías desrotadoras [Internet]. Org.ar. Disponible en: <https://raaot.org.ar/index.php/AAOTMAG/article/view/1283/4342>
 19. Matai I, Kaur G, Seyedsalehi A, McClinton A, Laurencin CT. Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering. *Biomaterials* [Internet]. 2020;226(119536):119536. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31648135/>
 20. Verhey JT, Haglin JM, Verhey EM, Hartigan DE. Virtual, augmented, and mixed reality applications in orthopedic surgery. *Int J Med Robot* [Internet]. 2020;16(2):e2067. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31867864/>
 21. Nie B, Huo S, Qu X, Guo J, Liu X, Hong Q, et al. Bone infection site targeting nanoparticle-antibiotics delivery vehicle to enhance treatment efficacy of orthopedic implant related infection. *Bioact Mater* [Internet]. 2022;16:134–48. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452199X2200069X>
 22. Li RT, Kling SR, Salata MJ, Cupp SA, Sheehan J, Voos JE. Wearable performance devices in sports medicine. *Sports Health* [Internet]. 2016 [citado el 2 de abril de 2022];8(1):74–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/1941738115616917>
 23. Arroyo-Berezowsky C. Desarrollo de plan de entrenamiento con simulación de arthroscopia para residentes de ortopedia. *Acta Ortop Mex* [Internet]. 2018;32(5):297–302. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-41022018000500297
 24. Alemayehu DG, Zhang Z, Tahir E, Gateau D, Zhang D-F, Ma X. Preoperative planning using 3D printing technology in orthopedic surgery. *Biomed Res Int* [Internet]. 2021;2021:7940242. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34676264/>
 25. Bahamonde Muñoz L, García-Huidobro G, Laso Errázuriz JI, Diaz Tocornal D, Alegria Fuentes C, Ritacco LE, et al. Cirugía asistida por computador en tumores óseos. Principios generales. *Rev chil ortop traumatol* [Internet]. 2016;57(1):20–5. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-chilena-ortopedia-traumatologia-230-pdf-S0716454815000200>
 26. Wang B, Feng C, Pan J, Zhou S, Sun Z, Shao Y, et al. The effect of 3D printing metal materials on osteoporosis treatment. *Biomed Res Int* [Internet]. 2021 [citado el 3 de abril de 2022];2021:9972867. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2021/9972867>
 27. Jiang J. Research on the improved image tracking algorithm of athletes' cervical health. *Rev Brasil Med Esporte* [Internet]. 2021;27(5):476–80. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbme/a/DDkTg7jvgG4Bp9BvY6rw8Mb/?lang=en>
 28. Weidert S, Andress S, Suero E, Becker C, Hartel M, Behle M, et al. 3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training : Possibilities and fields of application: Möglichkeiten und Anwendungsbereiche. *Unfallchirurg* [Internet]. 2019;122(6):444–51. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31053925/>
 29. San-Millán I. Blood biomarkers in sports medicine and performance and the future of metabolomics. *Methods Mol Biol* [Internet]. 2019;1978:431–46. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31119678/>
 30. Koju N, Sikder P, Ren Y, Zhou H, Bhaduri SB. Biomimetic coating technology for orthopedic implants. *Curr Opin Chem Eng* [Internet]. 2017;15:49–55. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221133981630123X>
 31. Cecil J, Gupta A, Pirela-Cruz M, Ramanathan P. An IoMT based cyber training framework for orthopedic surgery using Next Generation Internet technologies. *Inform Med Unlocked* [Internet]. 2018;12:128–37. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352914818300285>
 32. Moroni L, Boland T, Burdick JA, De Maria C, Derby B, Forgacs G, et al. Biofabrication: A guide to technology and terminology. *Trends Biotechnol* [Internet]. 2018;36(4):384–402. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29137814/>
 33. Son J, Herrera Valenzuela DS, Sacristán Gutiérrez MC, Vargas Castellanos PM. Una Actualización Sobre Aplicaciones Ortopédicas Usando Tecnologías de Impresión Tridimensional. *Rev Ing Biomed* [Internet]. 2018 [citado el 3 de abril de 2022];12(23):45–51. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622018000100045
 34. King D, Hume P, Gissane C, Brughelli M, Clark T. The influence of head impact threshold for reporting data in contact and collision sports: Systematic review and original data analysis. *Sports Med* [Internet]. 2016;46(2):151–69. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26545363/>
 35. Jiang P. Application of 3d analysis technology of vision system image in sports medicine. *Rev Brasil Med Esporte* [Internet]. 2021;27(4):381–5. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbme/a/gRMbJkFpbhwHPVFPXZsGFx/?lang=en>
 36. Seshadri DR, Drummond C, Craker J, Rowbottom JR, Voos JE. Wearable devices for sports: New integrated technologies allow coaches, physicians, and trainers to better understand the physical demands of athletes in real time. *IEEE Pulse* [Internet]. 2017;8(1):38–43. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28129141/>
 37. Vaishya R, Patralekh MK, Vaish A, Agarwal AK, Vijay V. Publication trends and knowledge mapping in 3D printing in orthopaedics. *J Clin Orthop Trauma* [Internet]. 2018;9(3):194. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcot.2018.07.006>
 38. Silva IC do N da, Alves AC de J. Identificação das tecnologias assistivas no esporte paralímpico: contribuições e barreiras. *Cad Bras Ter Ocup* [Internet]. 2020;28(3):917–30. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/cadbro/a/ypq3SKT6tdtNFRSzVwKcnhp/?lang=pt>
 39. Kuroda Y, Young M, Shoman H, Punnoose A, Norrish AR, Khanduja V. Advanced rehabilitation technology in orthopaedics-a narrative review. *Int Orthop* [Internet].

- 2021;45(8):1933–40. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00264-020-04814-4>
40. Ejnisman L, Helito CP, Camargo AFDEF, Rocha BA, Baptista AM, Camargo OPDE. Three-dimensional printing in orthopedics: Where we stand and where we are heading. *Acta Ortop Bras* [Internet]. 2021;29(4):223–7. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/aob/a/N9BwtQS8D7n3Bk6bnPS6gWt/?lang=en>
41. Wong KC. 3D-printed patient-specific applications in orthopedics. *Orthop Res Rev* [Internet]. 2016;8:57–66. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2147/ORR.S99614>
42. Li C, Xue F, Zhou F. The use of three-dimensional model construction of virtual technology in orthopedic treatment. *Saudi J Biol Sci* [Internet]. 2020;27(4):1169–73. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32256180/>
43. Freitas Júnior HODE, França LCDEM, Castilho AM, Resende RLCDE, Tavares PCM, Leal JS. Conservative idiopathic scoliosis treatment with brace produced using 3d technology. *Coluna/Columna* [Internet]. 2021;20(3):174–80. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/coluna/a/yCsvSXMbZjHbh3Fyb9pyMgx/?lang=en>
44. Braun BJ, Grimm B, Hanflik AM, Richter PH, Sivananthan S, Yarboro SR, et al. Wearable technology in orthopedic trauma surgery - An AO trauma survey and review of current and future applications. *Injury* [Internet]. 2022; Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020138322002133>
45. Gilbert A, Jones J, Maria S, Carl M. What factors influence patient preference for communication technology consultations in an orthopaedic rehabilitation setting? A qualitative study. *Physiotherapy* [Internet]. 2022;114:e23–4. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031940621006568>