

Additive manufacturing of a splint for hand arthritis in the elderly using 3d scanning and printing

Fabricación aditiva de una férula para artritis de mano en personas de la tercera edad aplicando escaneo e impresión 3D

Diego Bustos¹ Sebastián Cárdenas² Jessica Tipantiza³

¹Investigador Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: dbustos@istct.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: wcardenasr@istct.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: jtipantizam@istct.edu.ec

Recibido: 31/05/24

Aceptado: 13/06/24

Publicado: 28/06/24

RESUMEN

La artritis es una enfermedad degenerativa que afecta especialmente a personas de la tercera edad, esta condición provoca dolor y rigidez en las articulaciones de las manos, lo que dificulta la calidad de vida.

En los últimos años, la impresión y escaneo 3D han revolucionado la producción de férulas, ofreciendo una fabricación alterna, personalizada y accesible. Además, la recopilación de datos mediante medición es una solución eficiente para el diseño de la misma.

El material de impresión PLA es ligero y resistente utilizado en la fabricación de férulas para las articulaciones afectadas por artritis, a base de moldeo por calor para adaptar la férula a la mano. El uso de una esponja acolchonada ayuda a mejorar la comodidad del paciente y prevenir lesiones en la piel. En el presente estudio, para poder moldear la férula impresa en 3D y se adapte a la geometría del paciente se utilizó un moldeo por transferencia de calor que oscile alrededor de los 100°C.

Palabras clave: Artritis, Escaneo 3D, Férula, Impresión 3D, Mano PLA

ABSTRACT

Arthritis is a degenerative disease that particularly affects elderly individuals. This condition causes pain, inflammation, and stiffness in the joints of the hands, which hinders the quality of life of affected individuals.

In recent years, 3D printing and scanning have revolutionized the production of splints, offering an alternative, personalized, and accessible manufacturing method. Additionally, data collection through measurement is an efficient solution for designing the splint.

The PLA printing material is lightweight and resistant, used in the manufacturing of splints for arthritis-affected joints. It is molded using heat to adapt the splint to the hand. The use of a padded sponge helps improve patient comfort and prevent skin injuries.

In the present study, in order to mold the 3D printed splint and adapt it to the patient's geometry, heat transfer molding that oscillates around 100°C was used.

Keywords: Arthritis, 3D scanning, Splint, 3D printing, Hand, PLA

1. INTRODUCCIÓN

La impresión 3D ha revolucionado la forma en que se fabrican diversos productos, y las férulas de mano para artritis en personas de la tercera edad no son una excepción. Estas férulas, diseñadas específicamente para brindar soporte y alivio a aquellos que sufren de artritis en las manos, se han convertido en una solución innovadora y personalizada.

En la actualidad, la fabricación de férulas de mano para personas de tercera edad mediante impresión 3D en la ciudad de Quito es un proyecto de escaso desarrollo, el proceso de fabricación de este producto implica el uso de materiales tradicionales como cuero, metal y plásticos resistentes a altas temperaturas, que se moldean para crear la forma final. Los mercados en línea ofrecen férulas diseñadas para pacientes con artritis, fabricadas según medidas estandarizadas. Sin embargo, el desafío radica en encontrar el tamaño adecuado de la férula que se adapte a la mano del individuo (Andrade, 2019).

Otro factor es el tipo de material utilizado para fabricar la férula, ya que la elección se fundamenta en aspectos mecánicos tales como la resistencia, la capacidad de flexión y la longevidad.

El material más utilizado en la impresión 3D para fabricar productos acordes a la necesidad es el PLA, para desarrollar férulas de ajuste personalizado, siendo esta una opción accesible y prometedora (Kelly, Paterson, & Richard, 2015).

2. LA FÉRULA A TRAVÉS DEL TIEMPO

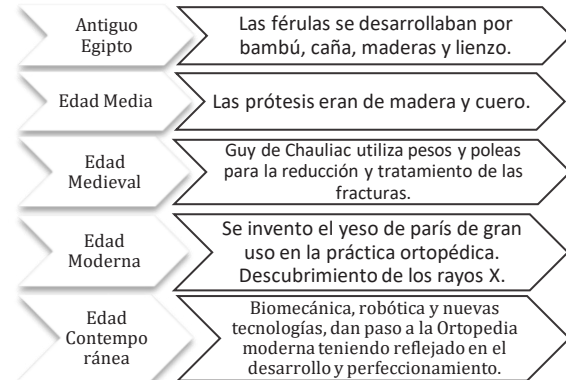
2.1 EVOLUCIÓN DE LA ORTOPEDIA

Las personas tienen la habilidad de buscar respuestas a los desafíos. A través del tiempo se han inspirado en métodos, procedimientos, instrumentales e ingenio para mejorar constantemente las férulas y que éstas sean funcionales. En la Figura 1 se presenta la evolución de la ortopedia (Ucha, 1965).

Nota. Tomado de (Ortopedia, 2020)

Figura 1

Evolución de la Ortopedia.



Nota. Tomado de (Ucha, 1965)

2.2 LA FÉRULA

Las férulas mantienen a las articulaciones y huesos en su lugar, esta solución particular se ha considerado eficaz para tratar dolencias relacionadas con las articulaciones, como la artritis (Wagner, 2023). En la Figura 2 se describe los diferentes tipos de férula para la mano.

Figura 2

Tipos de férula para la mano.



3. MEDICINA REUMATOLÓGICA

3.1 ARTRITIS DE MANO

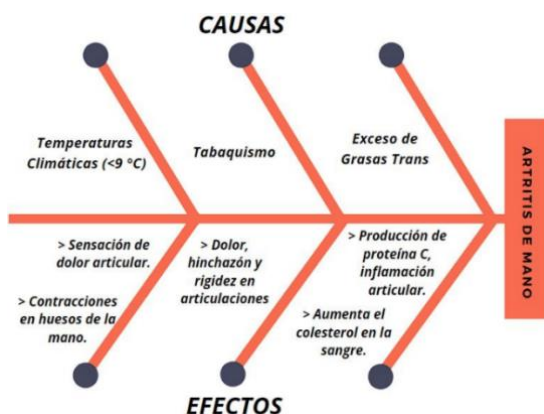
La artritis impacta las manos en un 90% en comparación con el resto del cuerpo, y la deformidad en las manos ocurre en un 36%, llegando al 18% en deformidades que no pueden corregirse. Las características definitorias de esta malformación particular incluyen el alargamiento de la articulación, la curvatura de la articulación interfalángica proximal y la sobre extensión de la articulación (Fernandez, Schenk, & Juárez, 2000).

3.2 CAUSAS Y EFECTOS DE ARTRITIS DE MANO

En la Figura 3 se presenta las causas y efectos de la artritis en manos.

Figura 3

Causas y efectos de la Artritis de mano.



Frente a este problema, la iniciativa utiliza tecnología de impresión y escaneo 3D para desarrollar prototipos de férulas de mano para personas dentro del rango de la tercera edad que sufren de contracción, desgaste y deformidad debido a la artritis.

4. DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA FÉRULA

4.1 ESCÁNER 3D

Para simplificar la creación de un objeto en formato digital, se requiere el uso de un escáner 3D. Este proceso implica la captura y análisis de la forma, textura y color del objeto a través de un sensor infrarrojo, y posteriormente, si es necesario, se puede realizar modificaciones en un software (Cardoso, Torres, & Bustos, 2022).

4.2 IMPRESIÓN 3D

Las impresiones en 3D del prototipo de la férula de mano se fabrican con un relleno del 100%, teniendo en cuenta las fuerzas que tendrá que soportar. Un mayor porcentaje de relleno aumenta la rigidez de la férula, lo que la hace ligera, cómoda y estéticamente agradable, lo que a su vez puede mejorar la recuperación ósea en hasta un 80% (Karasahin, 2013).

4.3 MATERIAL PARA LA IMPRESIÓN 3D

PLA es un plástico biodegradable derivado del almidón, ganando popularidad en el mercado de acuerdo como muestra la Tabla 1 (Bordignon, Alejandro, & Hahn, 2018).

Tabla 1

Material de impresión 3D

Características	Datos
Temperatura cama	60°C
Temperatura extrusor	180°C-230°C
Tracción	27-41 MPa
Compresión	66 MPa

5. MODELO GEOMÉTRICO DE LA MANO MEDIANTE ESCANEO 3D

Para obtener el modelo geométrico de la mano se utilizó dos escáneres; el Kinect Xbox 360 como se presenta en la figura 4, dado a que ofrece un mayor rango de visión máximo de 3 metros de distancia, permitiendo una digitalización 3D eficiente (Cardoso, Torres, & Bustos, 2022).

Figura 4

Kinect Xbox 360.



Nota. Tomado de (Gideon, 2021)

También se usó el Creality CR-Scan 01 como se

observa en la figura 5, ofrece un rango de visión máximo de 2 metros y un escaneo manual más flexible. (Nissei, s.f.)

Figura 5

Escáner Creality CR-Scan 01.



5.1 SOFTWARE

El Kinect Xbox utiliza el software libre Skanect que se descarga en su página oficial, puede funcionar con cualquier escáner y tiene una versión de pago.

CR STUDIO es el software libre utilizado en el Creality CR-Scan, descargándolo en la página oficial, sin embargo, se debe utilizar con el escáner de la misma marca.

5.2 RECOPIACIÓN DE DATOS

Para el desarrollo del escaneado se buscó personas de la tercera edad que tengan artritis de mano, con un grado de deformidad en dedos como se observa en la figura 6 y 7, se indica las zonas donde se mide.

Figura 6

Medidas de la mano (1).

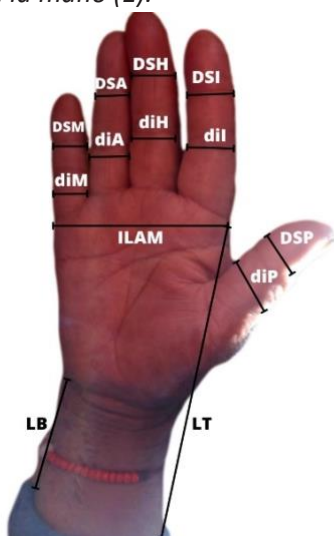


Figura 7

Medidas de la mano (2).



Se realizó la muestra de dos personas, paciente 1 (70 años) y paciente 2 (65 años). Obteniendo los siguientes datos presentados en la Tabla 2 y 3 expresado en mm.

Tabla 2

Medidas para férulas de dedos

Dedos	Paciente 1		Paciente 2	
	Superior (DS)	Inferior (di)	Superior (DS)	Inferior (di)
Pulgar(P)	20	22	19	20
Índice(I)	19	22	14	20
Medio(H)	19	20	15	16
Anular(A)	17	20	14	15,5
Meñique(M)	16	18	13	16

Tabla 3

Medidas para férula de mano (muñeca)

Datos	Paciente 1	Paciente 2
Espesor muñeca (EM)	35	31
Espesor dedo pulgar (EP)	20	20
Largo brazo (LB)	60	60
Espesor brazo (EB)	41	40
Inicio de línea amor a meñique (ILAM)	85	75
Inferior de índice a largo de brazo (LT)	165	165

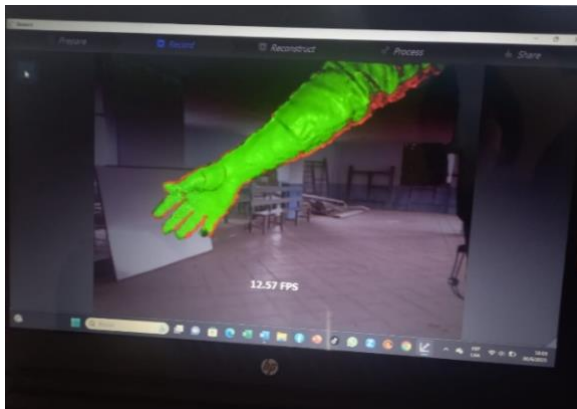
5.3 PROCESO DE ESCANEADO

Antes de comenzar el escaneado de las manos, se ajusta los parámetros en el Skanect, utilizando una medida de $0.7 \times 0.7 \times 0.7 \text{ m}^3$ del cuadro delimitador.

Colocando el escáner en un rango de visión máximo de 3 metros, además un indicativo del rango de visión adecuado es el color verde que se muestra en la figura 8.

Figura 8

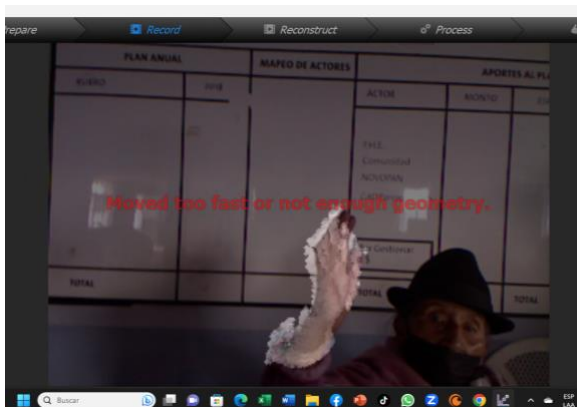
Escaneado de una mano.



Para un correcto escaneado es importante tener en cuenta el movimiento de la mano, siendo constante y lento a 2 rad/s , para evitar perder el seguimiento del objeto como se observa en la Figura 9.

Figura 9

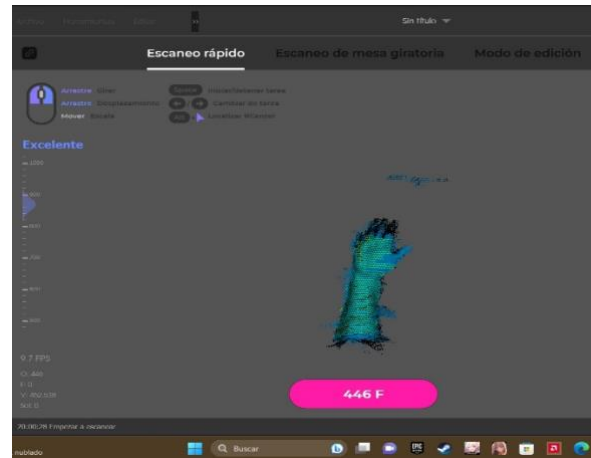
Error de seguimiento de la mano.



Con el software CR Studio, se ajusta la posición del cuadro delimitador con la mano, teniendo en la escala un excelente como se observa en la Ilustración 7.

Figura 10

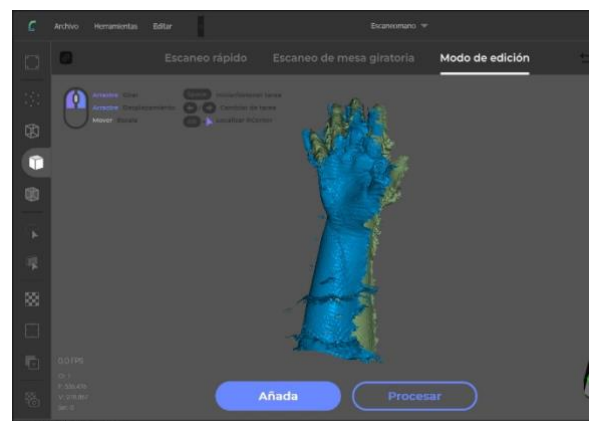
Proceso de escaneado.



Después, se reconstruye el modelo para dejarlo con una buena calidad como se observa en la figura 11.

Figura 11

Resultado final del escaneado de una mano.



Una vez escaneada la mano, se debe exportar la imagen en formato OBJ para poder modificar en un software de diseño CAD/CAM como Inventor.

6. MODELADO DE FÉRULA EN PROGRAMA CAD

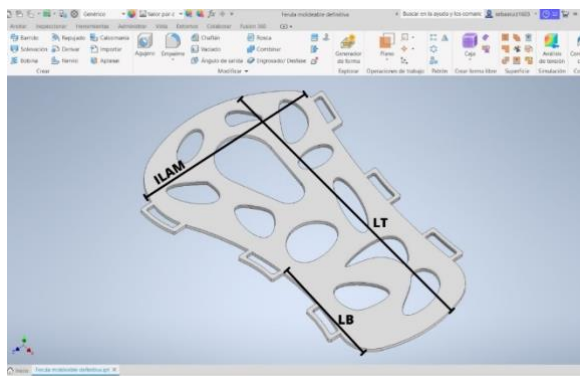
En el programa CAD Inventor se realiza el modelado de la férula de acuerdo con la anatomía de la mano del paciente realizado en el escáner.

La férula cuenta con dos partes, la primera es una férula de muñeca que va sujeta en la palma de la mano, muñeca y antebrazo, el diseño se realiza utilizando la tabla 3 como se presenta en

la figura 12.

Figura 12

Férula de muñeca



Se moldea mediante calor para dar la forma que se desea y tiene respiraderos para la circulación de aire permitiendo mayor comodidad.

La segunda, son férulas de dedos, su diseño se realiza utilizando la tabla 2 como se observa en la figura 13 y 14.

Figura 13

Férula de dedo pulgar

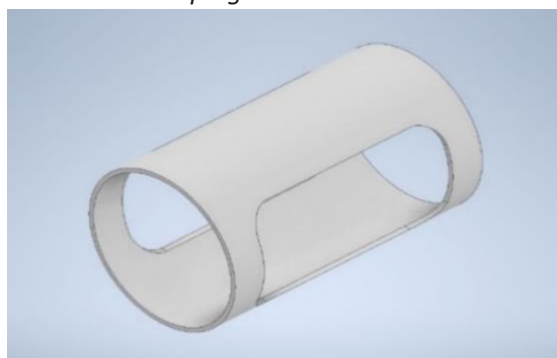
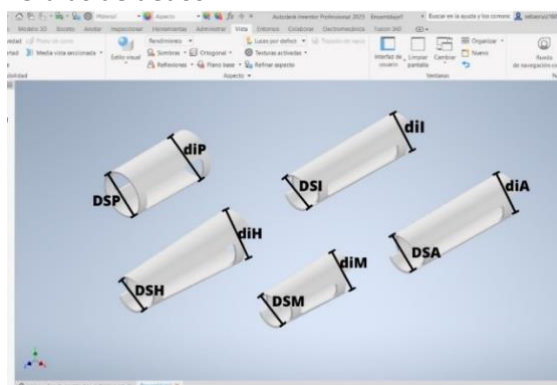


Figura 14

Férulas de dedos



Se realiza para cada dedo de acuerdo con las medidas, donde éstas deben ajustarse ergonómicamente; de igual manera se realiza

respiraderos para la circulación de aire.

7. IMPRESIÓN 3D DE LA FÉRULA

Se importa el modelado en STL de las diferentes férulas, para posterior pasar al programa UltiMaker Cura; y configurar a las especificaciones expuestas en la tabla 4.

Tabla 4

Características de impresión

Características	Datos
Material	PLA
Temperatura de base	60°C
Temperatura de extrusor	210°C
Velocidad de impresión	60 mm/s
Adherencia a la placa	falda
Recuento de líneas	4

En la figura 15 y 16 se observa el proceso de configuración mencionado en la tabla 4.

Figura 15

Férula de muñeca

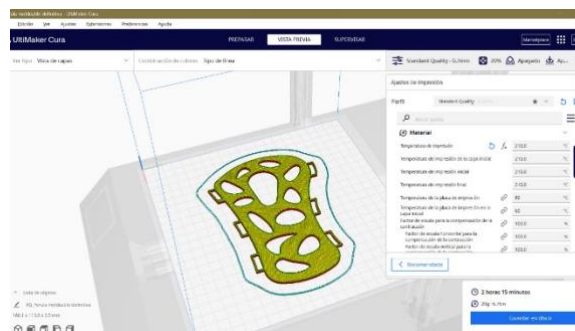
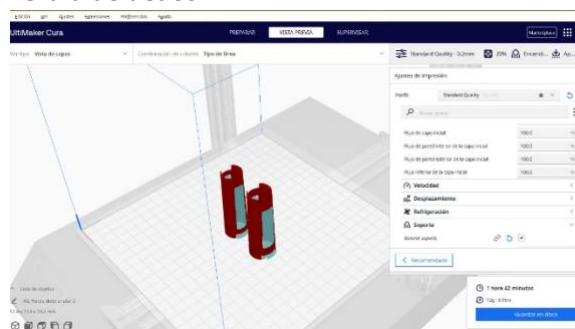


Figura 16

Férula de dedos



Los resultados finales de las férulas impresas en

3D tanto de muñecas como de dedos se presentan en la figura 17 y 18.

Figura 17

Férula de muñeca.



Figura 18

Férula de dedos.



8. RESULTADOS

- Los rediseños de las férulas fueron necesarios teniendo como resultado final la férula presentada en la Ilustración 9, para que ésta se ajuste a la anatomía de la mano, obteniendo con ello ergonomía y comodidad en el paciente.
- El tiempo de impresión en material PLA de un total de 7 piezas fue de 6h y 37min, trabajando a una temperatura del extrusor a 210 °C y la base de la impresora a 60 °C.
- El uso de una esponja acolchonada como

complemento a la férula es una estrategia efectiva para mejorar la comodidad del paciente, evitando producir lesiones cutáneas.

- Para poder moldear la férula impresa en 3D y se adapte a la geometría del paciente se utilizó un moldeo por transferencia de calor que oscile alrededor de los 100°C.

9. DISCUSIÓN

- El proyecto publicado por la universidad ESPE, presenta su método de fabricación de férula con un diseño ya adaptado a la forma de la mano de un solo paciente, sin embargo, el uso del calor para moldear la férula adapta mucho mejor a la geometría de la misma, ya que ahorra tiempo de fabricación.
- La tienda en línea española (Visionfarma) vende férulas de mano con material textil hecho en tejido de poliéster, el método puede tener limitaciones en cuanto a la personalización y adaptabilidad, ya que tienen un diseño estándar. La técnica de impresión 3D permite una personalización y adaptabilidad específica de cada paciente permitiendo diseños ergonómicos.

10. CONCLUSIONES

- El PLA es un material ligero y resistente, adecuado para ayudar las articulaciones afectadas por artritis, se comprobó una movilidad limitada y cómoda de la mano, lo que facilita la realización de actividades diarias sin restricciones excesivas.
- Con los diferentes escáneres utilizados, el Creality permitió escanear de manera más clara y precisa la anatomía de la mano al tener una resolución de color de 1.3 millones de píxeles, a diferencia del Kinect que posee una resolución de 640x480 píxeles.
- La fabricación de férulas en serie puede

ser más eficiente y rentable a corto plazo, sin embargo, la calidad y la precisión pueden verse comprometidas al imprimir en grandes cantidades. Al imprimir férulas de forma individual proporciona una mejor adaptación en la geometría de la mano, lo que puede resultar en una mejor durabilidad y efectividad a largo plazo. Por lo tanto, es preferible optar por imprimir férulas de forma individual mediante impresión 3D.

- El moldeo en calor utilizado para adaptar la férula de muñeca y dedos ayudó a mantener estabilidad y rectitud en estas áreas. Esta técnica asegura un ajuste preciso, mejorando la funcionalidad y comodidad para el paciente.
- La ergonomía y comodidad que se obtuvo de la prueba de la férula fue una solución a los efectos de la artritis, como el dolor y la estabilidad de la mano, teniendo libertad de movimiento para ejercer las actividades diarias de las personas.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade. (2019). *Manufactura de ferula para artritis de muñeca*. Sangolquí: Centro de investigación.

Andrade García, L. E. (2019). *Manufactura de Férulas para el tratamiento de artritis de muñeca aplicando tecnologías de impresión 3D*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".

Bordignon, F., Alejandro, I., & Hahn, Á. (2018). *Diseño e impresión de objetos 3D*. Buenos Aires: UNIPE: Universidad Pedagógica Nacional.

Cardoso, B., Torres, S., & Bustos, D. (Noviembre de 2022). *Análisis de los parámetros lumínicos en la digitalización dimensional de objetos de volumen de hasta 1m3, mediante el uso de un escaner infrarrojo*. Quito, Ecuador: Instituto Superior Universitario "Central Técnico".

Fernandez, Schenk, & Juárez. (2000). Deformidad en boutonnière de los dedos en artritis. *Hospital ABS*, 78-81.

Fletcher, J., & Brenda, S. (22 de Mayo de 2023). *Medical News Today*. Obtenido de ¿Por qué el cambio estacional afecta mis síntomas de artritis reumatoide?: <https://www.medicalnewstoday.com/articulos/es/efecto-del-cambio-estacional-en-la-artritis-reumatoide>

Gideon, M. (29 de Diciembre de 2021). *Business of Esports*. Obtenido de Phil Spencer thinks kinect is xbox's greatest contribution to gaming: <https://thebusinessofesports.com/2021/12/29/phil-spencer-thinks-kinect-is-xboxs-greatest-contribution-to-gaming/>

Karasahin. (2013). Osteoid medical cast. A'Design award and competition.

Kelly, S., Paterson, A., & Richard, B. (2015). Review of wrist splint designs for additive manufacture. Gran Bretaña: Loughborough University.

Medicaltex. (s.f.). Recuperado el 10 de Septiembre de 2023, de Férula stack-Inmovilizador de dedos: <https://www.medicaltex.pe/producto/ferula-stack-inmovilizador-de-dedo/>

MSP. (10 de Julio de 2022). *Medicina y Salud Pública*. Obtenido de Alimentación adecuada en personas con artritis: <https://medicinaysaludpublica.com/noticias/reumatologia/alimentacion-adecuada-en-personas-con-artritis/10393#:~:text=De%20lo%20contrario%2C%20ingerir%20alimentos,organismo%20a%20otras%20enfermedades%20cr%C3%B3nicas.>

Nissei. (s.f.). Recuperado el 12 de Septiembre de 2023, de Escáner 3D Portátil Creality CR-Scan 01 Upgrade Kit: [https://nissei.com/py/escaner-3d-portatil-creality-cr-scan-01-upgrade-kit#:~:text=Rango%20de%20escaneo%20\(port%C3%A1til\)%3A,%3A%200.3%20m%2D0.5%20m](https://nissei.com/py/escaner-3d-portatil-creality-cr-scan-01-upgrade-kit#:~:text=Rango%20de%20escaneo%20(port%C3%A1til)%3A,%3A%200.3%20m%2D0.5%20m)

Ortopedia Técnica Lopez. (s.f.). Recuperado

el 10 de Septiembre de 2023, de Guante inmovilizador de dedos: <https://www.ortopedialopez.com/tienda/dedos/guante-inmovilizador-de-dedos-orliman/>

Ortopedia, O. (11 de Junio de 2020). *Ortopedia Online*. Obtenido de Tipos de Férula para dedos y falanges de la mano: <https://www.ortopediaonlinetarancon.com/tipos-ferulas-para-dedos-y-falanges-mano/>
Ponce, A. (4 de Diciembre de 2019). *Dr. Antonio Ponce Vargas*. Obtenido de Tabaco y artritis reumatoide: <https://www.doctorponce.com/tabaco-y-artritis-reumatoide/>

Structure. (s.f.). Recuperado el 12 de Septiembre de 2023, de Skanect: <https://structure.io/skanect>

Ucha, A. T. (1965). *Cátedra de Traumatología y Ortopedia*. Montevideo.

Vademecum. (25 de Octubre de 2013). *VADEMECUM*. Obtenido de El exceso de grasa en pacientes con artritis reumatoide puede influir sobre el daño radiológico y la actividad de la enfermedad: [https://www.vademecum.es/noticia-131025-](https://www.vademecum.es/noticia-131025-el-exceso-de-grasa-en-pacientes-con-artritis-reumatoide-puede-influir-sobre-el-da%C3%B1o-radiol%C3%B3gico-y-la-actividad-de-la-enfermedad_7547)

[el+exceso+de+grasa+en+pacientes+con+art
ritis+reumatoide+puede+influir+sobre+el+d
a+ntilde+o+radiol+o+acute+gico+y+la+activid
ad+de+la+enfermedad_7547](https://www.vademecum.es/noticia-131025-el-exceso-de-grasa-en-pacientes-con-artritis-reumatoide-puede-influir-sobre-el-da%C3%B1o-radiol%C3%B3gico-y-la-actividad-de-la-enfermedad_7547)

Wagner. (marzo de 2023). *Nemours Children's*. Obtenido de [https://kidshealth.org/es/kids/splints.html#](https://kidshealth.org/es/kids/splints.html#:~:text=Las%20f%C3%A9rulas%20mantiene,n%20los%20huesos,debilidad%20o%20la%20par%C3%A1lisis%20muscular).)
:~:text=Las%20f%C3%A9rulas%20mantiene
n%20los%20huesos,debilidad%20o%20la%20par
%C3%A1lisis%20muscular).