



## Diseño y prototipado de un dispositivo de rehabilitación para la artritis reumatoide de mano

Prototyping and design of a rehabilitation device for hand rheumatoid arthritis

**ROBERTO MOYA**

Universidad Central del Ecuador (Ecuador)  
rcmoya@uce.edu.ec

**TERESA MAGAL-ROYO**

Universitat Politècnica de Valencia (España)  
tmagal@degi.upv.es

Recibido: 20 de mayo de 2019

Aceptado: 18 de julio de 2019

### Resumen:

*El presente artículo describe los avances realizados en la aplicación de las tecnologías de prototipado rápido (RP) en el desarrollo de prótesis personalizadas para la rehabilitación física de la mano en pacientes con Artritis Reumatoide Crónica (AR). La metodología creada tiene en cuenta aspectos relacionados con la fisiología del movimiento de la mano y los problemas de movilidad que sufren los pacientes crónicos de AR sobre todo en los movimientos específicos de las falanges y huesos metacarpianos. Desde el punto de vista tecnológico, se han aplicado las técnicas de digitalización en la toma de datos del paciente, el uso del Diseño Asistido por Ordenador (DAO) en la generación de un modelo virtual y la formalización de un exoesqueleto para la rehabilitación mediante el uso de las técnicas de RP.*

**Palabras Clave:** Artritis reumatoide, exoesqueleto, Rehabilitación física, prototipado rápido, Diseño asistido por ordenador.

### Abstract:

*This article describes the advances made in the application of rapid prototyping technologies (RP) in the development of personalized prostheses for the hand physical rehabilitation in patients with Chronic Rheumatoid Arthritis (RA). The methodology created considers aspects related to the physiology of hand movement and mobility problems suffered by chronic RA patients, especially in the specific movements of the metacarpal bones and phalanges. From the technological point of view, digitalization techniques have been applied in the taking of patient data, the use of Computer Aided*

*Design, CAD in the generation of a virtual model and the formalization of an exoskeleton for rehabilitation through the use of RP.*

**Keywords:** Rheumatoid arthritis, exoskeleton, Physical rehabilitation, rapid prototyping, Computer-aided design.



## 1. Introducción

Las pautas formales de diseño sistémico para la creación de un exoesqueleto mediante técnicas DAO combinadas con las técnicas de RP necesitan de un conocimiento previo de los factores tecnológicos, fisiológicos y sociales, que afectan directamente a la creación de exoesqueletos de rehabilitación para extremidades superiores. El enfoque central de esta investigación está dirigida a la rehabilitación muscular de atrofas específicas como es el caso de la originada por la AR generalmente desarrollada en la población adulta, sin embargo, su incidencia mundial se estima en torno al 0.3 – 1.2 % de la población, entre 6 – 10 casos /año/10.000 habitantes (Silman y Hochberg, 1993).

En el artículo se expondrá el análisis de las tecnologías que mejor se adaptan en resolver el proceso sistémico de creación de exoesqueletos adaptados mediante tecnologías de RP y sensores adaptados a las necesidades del paciente y por otra parte en modelar digitalmente un exoesqueleto efectivo, que permita solucionar las carencias actuales del procedimiento de rehabilitación terapéutico asistencial.

Una de las áreas de concentración más conocidas de la robótica es la destinada a la cooperación con el sector industrial de la sanidad, donde existe interés en su aplicación en el diseño de prótesis para personas que hayan perdido un miembro, diseño de aparatos para la rehabilitación muscular, diseño de aplicaciones neurológicas para el control muscular, entre otros.

La falta de control real por parte del paciente durante la realización de los movimientos exactos y la necesidad de ajustar la postura en basándose en criterios de esfuerzos concretos, son algunos de los factores a mejorar en programas terapéuticos tradicionales que podrían garantizarse con un exoesqueleto adaptado.

Por las razones mencionadas es necesario la aplicación de tecnologías y sistemas mecatrónicos, ya sea para los procesos de rehabilitación o para la asistencia permanente de los pacientes. Varios estudios han evidenciado que las terapias asistidas con exoesqueletos han arrojado resultados muy favorables para la vida de los pacientes, ayudándoles a recobrar sus habilidades motoras y funcionales (Borghetti, Sardini y Serpelloni, 2013).

## 2. Método y Materiales

La propuesta establecida consiste en el diseño de un dispositivo que actúe como un acompañante del movimiento natural. Para establecer pautas iniciales de la investigación a nivel tecnológico se realizó una estancia de investigación en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID) de la Universitat Politècnica de Valencia, UPV como parte del trabajo de investigación de campo, con una duración de

un mes. Aquí se obtuvo un análisis y desarrollo metodológico relacionado con la toma de datos mediante técnicas de RP como escaneo 3D, modelado digital 3D y reconstrucción mediante técnicas de una mano con AR que sirve de referencia tridimensional para crear posteriormente un prototipo de exoesqueleto funcional para la rehabilitación muscular de las manos. Para ello se solicitó la colaboración del Laboratorio de Fotogrametría de la Unidad de FABLAB de la Universitat Politècnica de Valencia para la realización del prototipo físico mediante técnicas prototipado rápido en sus instalaciones.

Se realizaron pruebas virtuales y físicas para la elaboración de un prototipo de mano artrítica, estableciendo tareas y procesos reales para la generación de un modelo físico 3D que sirviera para la implementación de un exoesqueleto para la rehabilitación muscular.



Figura 1. Proceso de impresión 3D de mediante el uso la técnica de fundición de plástico construyendo capas sobrepuestas para crear el objeto. IMPRESORA 3D BCN3D

El proceso realizado se resume en el esquema presentado a continuación, que parte de la identificación de un paciente con la patología del estudio presente y la vinculación con el uso de la tecnología de RP, para obtener un objeto que permite una fácil manipulación para el estudio de la forma en la generación de una propuesta de un dispositivo que permitirá realizar rehabilitación para manos afectadas con AR.



Figura 2. Esquema del proceso de prototipado de una mano mediante técnicas DIGITALIZACION-DAO-RP

Actualmente se desconoce la causa raíz de la AR, sin embargo, existen estudios que determinan que sus comienzos pueden ser el resultado de la interacción de un antígeno desencadenante y una base genética predisponente (Lozano, 2001); como consecuencia se produce la desviación articular progresiva que factores como el abandono terapéutico provocaría la invalidez permanente con secuelas irreversibles. El proceso de desarrollo constituye la aplicación metodológica que concibe criterios de respuesta en ensayos clínicos tomando en cuenta la relación dispositivo–usuario, sin embargo la aplicación de estos conceptos deben ir de la mano de la experiencia contrastada al ámbito clínico y formal.

Se ha cuantificado datos de estudio de una población sin patologías, para direccionar el estudio a la intervención cognitiva del individuo además del aporte de elementos subjetivos que se unen a las disposiciones técnicas, que confieren al diseño de ingeniería un resultado dirigido a la evolución del paciente. Es importante tener presente que las estrategias basadas en un control intensivo de la inflamación y rápido ajuste terapéutico tratando de alcanzar un objetivo siempre fueron superiores a un tratamiento rutinario, usaran o no, fármacos biológicos (Grigor et al. 2004) (Verstappen et al., 2007) (Goekoop-Ruiterman et al., 2005) (Goekoop-Ruiterman et al., 2010).

### 3. Resultados

El desarrollo empieza a partir de la adaptabilidad del dispositivo, se concibe un modelado a partir de DAO de las falanges de la mano, el objetivo principal es la instauración de este dentro de las fases primarias de la enfermedad denominado también, comienzo poliarticular, que significa que la enfermedad no ha comprometido de manera invasiva al paciente, su progreso es lento e insidioso. Se considera que alrededor del 70% de los pacientes comienzan en esta etapa (Batle et al., 2013).

A continuación, se presenta el desarrollo de toma de medidas de personas de 18-65 años de una población sin discapacidad de 5 individuos, para la generación de una base de datos de las medidas de los huesos de la mano, falanges distales, falanges medias, falanges proximales, metacarpianas y carpianas, para la estandarización del modelo.

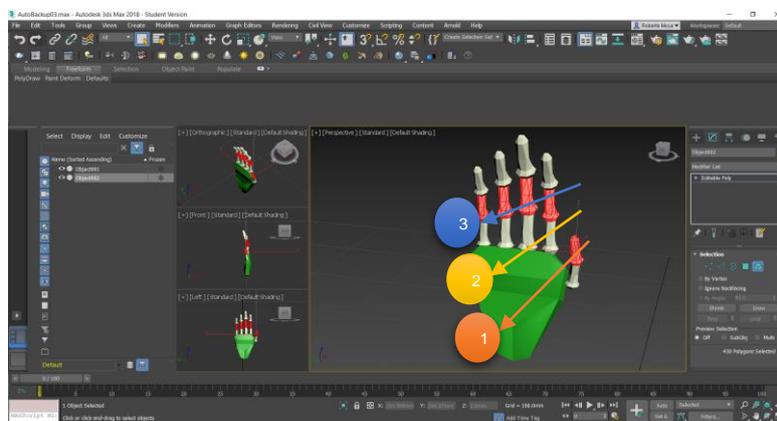


Figura 3. Huesos de la mano digitalizada en software 3D Studio Max™. Orden de falanges para identificación en la tabla a continuación.

Dedo	Falange	Media (mm)	Percentil 5 (mm)	Percentil 65 (mm)	Percentil 95 (mm)
<b>1 (pulgar)</b>	1	30.33	28.3	31.9	33.7
	2	25.3	17.65	25.45	29.35
<b>2 (índice)</b>	1	32.6	28.4	33.2	35.6
	2	22.3	20.3	23.9	25.7
<b>3 (medio)</b>	3	21	19.25	22.25	23.75
	1	36.33	29.65	37.45	41.35
	2	24.6	23.3	26.9	28.7
	3	23	20.2	22.6	23.8
<b>4 (anular)</b>	1	30.6	28.7	37.1	41.3
	2	25	22.35	26.55	28.65
	3	23.3	23.05	23.65	23.95
<b>5 (meñique)</b>	1	21.66	14.8	24.4	29.2
	2	22	19.2	21.6	22.8
	3	19	18.2	20.6	21.8

Tabla 1. Medidas de falanges del caso de estudio (en milímetros).

Mediante la información analizada previamente se establece el proceso de constitución de la idea, en este caso se presentan dos modelados.

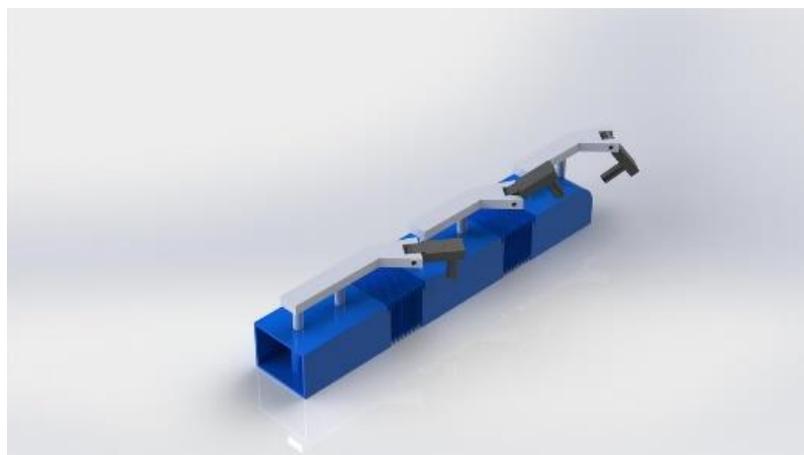


Figura 4. Propuesta 1 exoesqueleto desarrollada en Autodesk Inventor Professional™



Figura 5. Propuesta 2 exoesqueleto desarrollada en Autodesk Inventor Professional™

La eficacia de la propuesta será verificada mediante criterios clínicos, basados en la movilidad articular y en la capacidad para desenvolver tareas cotidianas. Los métodos más extendidos actualmente para la cuantificación del proceso de mejoría son los cuestionarios específicos para enfermedades reumáticas como el HAQ, el Modified Health Assessment Questionnaire (MHAQ) (versión reducida del HAQ) o algunas de sus modificaciones más recientes (Esteve – Vives et al., 1994). Estos cuestionarios evalúan la opinión misma del paciente y el terapeuta sobre su enfermedad principalmente aquellas características referentes a la función física, motivantes de interés debido a la resolución de la propuesta.

Es así que la disposición de la segunda propuesta presentada tiene resultados más eficaces en cuanto a al desarrollo de la movilidad, debido a los factores de modularidad que la constitución del diseño brinda. Adaptándose a todos los métodos relevantes que la AR involucra para un proceso óptimo de remisión.



Figura 6. Prototipado de la propuesta 2 exoesqueleto.

#### 4. **Discusión**

El hecho de investigar tecnologías y procesos adaptados a este problema específico ha abierto, nuevas oportunidades metodológicas mediante el uso de las nuevas tecnologías dentro del RP como escaneo 3D e impresión 3D para la generación de posibles bancos de información de manos con AR digitalizadas para la elaboración de historiales clínicos digitales y de esta manera se permitiría establecer parámetros para analizar la enfermedad. De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando en el presente artículo, el manejo de información permitirá usar de manera virtual el estudio de las formas aplicables para generar exoesqueletos adaptables según las necesidades del paciente o, por ejemplo, para elaborar estudios de antropometría comparativa de avances en la enfermedad.

Los resultados obtenidos han permitido demostrar que para el desarrollo de este tipo de exoesqueletos se necesita de un trabajo interdisciplinar, con base en tres líneas:

- Los aspectos formales (procesos de diseño y ergonomía)
- Los aspectos médicos (estudio de las patologías y de la rehabilitación tradicional).
- Los aspectos técnicos relacionados con los mecanismos (sistemas de comunicación, instrumentación electrónica, sistemas de control analógico, digital y de potencia).

## Bibliografía

- Batle Gualda, E., Mínguez Vega, M., Bernabéu Gonzáles, P., y Panadero Tendero, G. (2013). *Enfermedades Reumáticas*. Valencia: Ibáñez & Plaza Asociados S.L.
- Borghetti, M., Sardini, E., y Serpelloni, M. (2013). Sensorized glove for measuring hand finger flexion for rehabilitation purposes. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 62(12), 3308-3314.
- Esteve-Vives, J., Batlle-Gualda, E., Tornero, J., Tenorio, M., Boquet, D., & Martínez-Sanchís, A. (1994). Adaptación del Modified Health Assessment Questionnaire (MHAQ) a la población española. *Rev Esp Reumatol*, 21, 165.
- Goekoop-Ruiterman, Y. D., de Vries-Bouwstra, J. K., Allaart, C. F., Van Zeben, D., Kerstens, P. J. S. M., Hazes, J. M. W., ... & Gerards, A. H. (2005). Clinical and radiographic outcomes of four different treatment strategies in patients with early rheumatoid arthritis (the BeSt study): a randomized, controlled trial. *Arthritis & Rheumatism*, 52(11), 3381-3390.
- Goekoop-Ruiterman, Y. P., de Vries-Bouwstra, J. K., Kerstens, P. J., Nielen, M. M., Vos, K., van Schaardenburg, D., ... & Dijkmans, B. A. (2010). DAS-driven therapy versus routine care in patients with recent-onset active rheumatoid arthritis. *Annals of the rheumatic diseases*, 69(01), 65-69.
- Grigor, C., Capell, H., Stirling, A., McMahon, A. D., Lock, P., Vallance, R., ... & Kincaid, W. (2004). Effect of a treatment strategy of tight control for rheumatoid arthritis (the TICORA study): a single-blind randomised controlled trial. *The Lancet*, 364(9430), 263-269.
- Lozano, J. (2001). Artritis reumatoide (I). Etiopatogenia, sintomatología, diagnóstico y pronóstico. *OFFARM*, 100
- Star, V. L., & Hochberg, M. C. (1993). Prevention and management of gout. *Drugs*, 45(2), 212-222.
- Verstappen, S. M. M., Jacobs, J. W. G., Van der Veen, M. J., Heurkens, A. H. M., Schenk, Y., Ter Borg, E. J., ... & the Utrecht Rheumatoid Arthritis Cohort study group. (2007). Intensive treatment with methotrexate in early rheumatoid arthritis: aiming for remission. Computer Assisted Management in Early Rheumatoid Arthritis (CAMERA, an open-label strategy trial). *Annals of the rheumatic diseases*, 66(11), 1443-1449.