

Aplicaciones de la mecatrónica en medicina humana: Un enfoque bibliométrico (2019-2024)

*(Mechatronics applications in human medicine: A bibliometric approach
(2019-2024))*

Darío Robayo-Jácome¹, Daniela Robayo-Sánchez², Mateo Robayo-Sánchez³

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato, Ecuador

² Centro de Salud Huaticocha – Ministerio de Salud Pública del Ecuador, Loreto, Ecuador

³ Universidad UTE, Quito, Ecuador

drobayo@pucesa.edu.ec, mariad.robayo@22d02.mspz2.gob.ec, mateo.robayo@ute.edu.ec

Resumen: Se presenta un estudio desde el punto de vista de la bibliometría sobre el área de la mecatrónica aplicada a la salud, necesidad que surge para entender la evolución de esta disciplina y sus crecientes aplicaciones. La metodología utilizada fue descriptiva y retrospectiva aplicada a datos tomados de la base de datos Scopus. Para su obtención y análisis, se emplearon diversos parámetros que definieron los criterios de inclusión y exclusión, y se formularon varias preguntas de análisis que permitieron identificar las principales tendencias mediante un análisis descriptivo en las publicaciones de los últimos cinco años. Al concluir el estudio se obtuvieron 110 documentos, de los cuales se identificaron las revistas con más artículos, los autores más relevantes en el tema, los países con un número significativo de publicaciones, las preferencias de los investigadores, entre otros. La variabilidad anual en el número de publicaciones puede indicar la necesidad de fortalecer la colaboración internacional, así como una mayor inversión en proyectos transdisciplinarios. Las técnicas bibliométricas empleadas han permitido identificar una tendencia sostenida en la producción científica relacionada con la mecatrónica aplicada a la medicina.

Palabras clave: Automatización, control inteligente, ingeniería en medicina, salud electrónica, robótica médica.

Abstract: This study presents a bibliometric analysis of the field of mechatronics applied to health, addressing the need to understand the evolution of this discipline and its growing applications. The methodology used was descriptive and retrospective, applied to data retrieved from the Scopus database. Various parameters were employed to define the inclusion and exclusion criteria for data collection and analysis. Several analysis questions were formulated to identify key trends through a descriptive examination of publications over the last five years. The study yielded 110 documents, from which the journals with the most articles, the most relevant authors in the field, the countries with a significant number of publications, and the researchers' preferences, among other aspects, were identified. The annual variability in the number of publications may indicate the need to strengthen international collaboration and increase investment in transdisciplinary projects. The bibliometric techniques employed have allowed for the identification of a sustained trend in scientific production related to mechatronics applied to medicine.

Keywords: Automation, intelligent control, engineering in medicine, electronic healthcare, medical robotics.

1. INTRODUCCIÓN

La mecatrónica, un término que surgió de la combinación de "meca" de mecanismos y "trónica" de electrónica, ha evolucionado significativamente desde su concepción para abarcar la integración de mecánica, electrónica e informática, formando una disciplina transdisciplinaria que aborda el diseño y desarrollo de sistemas avanzados [1]. Según [2] un sistema mecatrónico no solo recopila y procesa información, sino que también actúa, aprende y automatiza procesos mediante la ejecución de programas informáticos. Estas características lo convierten en una herramienta poderosa para diseñar sistemas flexibles, reprogramables y con la capacidad de procesar grandes cantidades de datos de manera automática, lo que ha permitido su adopción en diversos campos como la medicina, minería, y las industrias automotriz, textil y farmacéutica, entre otros [3].

A pesar de sus numerosas ventajas, la mecatrónica no está exenta de controversias. Por un lado, se plantea el impacto en la sustitución del recurso humano debido a la automatización de procesos, lo que puede desplazar a trabajadores en ciertas áreas [4]. Por otro lado, surgen preocupaciones en torno a la protección de datos personales, dado que la recopilación y procesamiento de información por sistemas automatizados puede representar riesgos si no se asegura un manejo ético y responsable [5]. Sin embargo, los avances y beneficios asociados a esta disciplina han superado ampliamente estos desafíos, posicionándola como un pilar fundamental en el desarrollo tecnológico contemporáneo.

La mecatrónica, como disciplina integradora, combina mecánica, electrónica, informática y control automático para el diseño de sistemas avanzados [6]; se apoya en otras áreas del conocimiento para analizar, desarrollar y diseñar soluciones que mejoren la calidad, flexibilidad, costos y productividad de productos y procesos [7]. Desde su origen en Japón en 1969, donde se utilizó por primera vez para describir la integración de electrónica de potencia y microcontroladores en sistemas mecánicos [8], la mecatrónica ha evolucionado para incluir tecnologías avanzadas como microsensors y microactuadores [9], los cuales permiten realizar operaciones remotas con mayor precisión, funcionalidad y eficiencia [10].

En el ámbito médico, la mecatrónica ha demostrado ser una herramienta transformadora [11]. Ha permitido el desarrollo de dispositivos protésicos, robots quirúrgicos y tecnologías de rehabilitación, mejorando notablemente el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de diversas condiciones médicas [12]. Esta integración de tecnología y medicina, ha facilitado procedimientos menos invasivos, tiempos de recuperación más cortos y una mejor calidad de vida para los pacientes [13]. Sin embargo, en regiones como América Latina, la investigación en mecatrónica orientada a la medicina aún enfrenta desafíos significativos, ya que su desarrollo se encuentra rezagado en comparación con regiones como Norte América, Europa y Asia [14].

Este trabajo no solo busca proporcionar un panorama general sobre el estado actual de la investigación en mecatrónica aplicada a la salud, sino también fomentar la colaboración entre investigadores, instituciones y sectores industriales. Las conclusiones derivadas de este trabajo tienen el potencial de orientar nuevas investigaciones, promover innovaciones tecnológicas y contribuir al desarrollo de soluciones que respondan a las necesidades médicas contemporáneas. En última instancia, la mecatrónica se perfila como un componente esencial en la evolución de la medicina moderna, ofreciendo herramientas y enfoques que continúan transformando los tratamientos y procedimientos médicos en todo el mundo.

2. METODOLOGÍA

La investigación del presente trabajo está desarrollada bajo un enfoque cuantitativo de la producción de documentos, por los resultados que se obtienen a partir de análisis estadísticos [15], al revisar los aportes de varios autores sobre el tema de estudio. Para realizar el análisis bibliométrico en el campo de la mecatrónica aplicada a la salud, se empleó un método descriptivo

para la revisión de documentos, basado en herramientas bibliométricas que permitieron analizar redes y generar gráficos.

Se utilizó Scopus para la selección de las publicaciones que cumplen con las particularidades necesarias, ya que de acuerdo con [16] a la actualidad es una de las bases de datos de alta calidad y un avanzado rigor científico. Así, al realizar la búsqueda inicial haciendo uso de la cadena: TITLE-ABS-KEY(mechatronics) AND TITLE-ABS-KEY(medicine) AND PUBYEAR>2018 AND PUBYEAR<2025, se obtuvieron 241 artículos.

Luego, se establecieron los criterios de inclusión para identificar los artículos adecuados en el desarrollo del análisis. Asimismo, se determinaron los criterios de exclusión para delimitar los artículos que no serían considerados en el estudio.

Criterios de inclusión:

- Artículos que contengan las palabras clave: mechatronics, medicine, human health, healthcare.
- Publicaciones realizadas en el periodo 2019-2024.
- Artículos científicos a texto completo.
- Documentos en idioma inglés.

Criterios de exclusión:

- Resúmenes, ponencias, actas de conferencia.

Como resultado, la cadena de búsqueda quedó establecida de la siguiente manera:

(((TITLE-ABS-KEY (mechatronics) AND TITLE-ABS-KEY (medicine)) OR (TITLE-ABS-KEY (mechatronics) AND TITLE-ABS-KEY (human AND health)) OR (TITLE-ABS-KEY (mechatronics) AND TITLE-ABS-KEY (healthcare)) AND LANGUAGE (english))) AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2025.

Así, se obtuvo un total de 110 documentos, que cumplen con los criterios anteriores y con las características necesarias para aplicar las técnicas bibliométricas. Estos se organizaron en una hoja electrónica, incluyendo información como título, autores, año, afiliación, revista, país, citas, entre otros.

Posteriormente, los metadatos fueron procesados con VOSviewer, software de análisis bibliométrico que permite el desarrollo de mapas utilizando la técnica VOS (visualization of similarities) [17], obteniéndose como resultados entre otros la citación y cocitación de autores y revistas, y la coocurrencia de palabras clave; lo que para [18], proporciona una representación más satisfactoria de un conjunto de datos mediante enfoques bien conocidos de escalamiento multidimensional. Como complemento y para la generación de gráficos descriptivos, los metadatos de los artículos seleccionados se analizaron también con el software ScienceScape.

Como resultado de los procesos mencionados, se obtuvieron algunos indicadores bibliométricos como autores principales, países y revistas con más publicaciones, año de publicación, artículos con mayor número de citas, entre otros. Sin embargo, y según menciona [19], algunos de estos datos son muy volátiles, ya que la cantidad de artículos que se publican puede variar considerablemente cada año.

Finalmente, para el análisis realizado se definieron los siguientes resultados bibliométricos:

- Publicaciones anuales en el periodo 2019-2024.
- Países con más publicaciones.
- Revistas con más artículos.
- Palabras clave más utilizadas.
- Número de artículos por autor.
- Artículos con mayor cantidad de citas.

3. RESULTADOS

Durante el período analizado se observa una variabilidad en el número de publicaciones anuales, lo que no demuestra un crecimiento progresivo en el total de artículos publicados (Figura 1). El año 2021 aparece como el más productivo, en contraste con el año 2020. Además, no hay un crecimiento o disminución anual evidente de las investigaciones sobre mecatrónica orientada a la medicina, la tendencia presenta un número promedio de publicaciones anuales de 18,3.

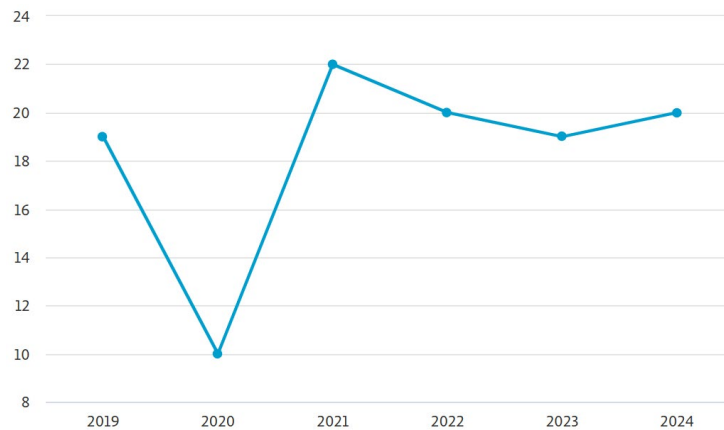


Figura 1. Número de artículos anuales.

A pesar de que el número total de publicaciones no muestra un patrón de crecimiento lineal, la estabilidad en la cantidad promedio anual sugiere que esta área mantiene un interés sostenido dentro de la comunidad científica. Este comportamiento puede estar influenciado por los avances tecnológicos en campos como la inteligencia artificial, los sistemas embebidos y la robótica, que facilitan nuevas aplicaciones en medicina.



Figura 2. Países líderes por número de publicaciones.

Por otra parte, en la realización de un análisis geográfico, los documentos revisados se dividen en 42 países, los resultados reflejan que Estados Unidos lidera la producción científica en esta temática, lo cual es consistente con su posición en el Índice Mundial de Innovación [20] y su infraestructura de investigación avanzada (Figura 2). Sin embargo, países como India, China y algunos de Europa también destacan por su contribución, lo que indica que la investigación en mecatrónica aplicada a la medicina no está limitada a una sola región geográfica. En América Latina, aunque Perú, Colombia y Brasil muestran avances significativos, la mayoría de las publicaciones regionales no están representadas en bases de datos globales como Scopus, lo que limita su visibilidad e impacto internacional.

Los resultados de las investigaciones en el área de la mecatrónica orientada a la salud humana se concentran en 89 revistas a nivel global. El 28,1 % de todas las publicaciones se encuentran agrupadas en las siguientes 9 revistas: *Advances in Intelligent Systems and Computing* con el 6,7 %, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics AIM* con un 4,5 %, *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings* 3,4 %, y con un 2,2 % cada una *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, *International Conference on Advanced Mechatronics*, *Intelligent Manufacture and Industrial Automation 2019*, *Lecture Notes in Networks and Systems*, *Frontiers in Neurorobotics*, *Mechanisms and Machine Science*, *Medical and Healthcare Robotics: New Paradigms and Recent Advances*, según se puede apreciar en la Tabla 1.

Es importante destacar que las dos revistas que lideran la producción en el tema de estudio, según [21], [22] presentan un Índice-H (H-Index) de 58 y 48 respectivamente, lo que muestra un valor significativo en la medición de la calidad de las citas que han recibido sus artículos [23].

Tabla 1. Artículos por revista.

Revista	Número de artículos
<i>Advances in Intelligent Systems and Computing</i>	6
<i>IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM</i>	5
<i>ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings</i>	3
<i>Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine</i>	2
<i>2019 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation, ICAMIMIA 2019 - Proceeding</i>	2
<i>Lecture Notes in Networks and Systems</i>	2
<i>Frontiers in Neurorobotics</i>	2
<i>Mechanisms and Machine Science</i>	2
<i>Medical and Healthcare Robotics: New Paradigms and Recent Advances</i>	2

En consideración a los autores y el número de publicaciones aceptadas, en la Figura 3 se aprecia que el autor José Cornejo presenta un mayor número de artículos con relación a la temática del estudio; seguido por Johannes Carl, Eva Grüne, Ricardo Palomares, Klaus Pfeifer y Johanna Popp con 4 documentos cada uno y finalmente Paúl Palacios y Jana Semrau con 3 artículos. Las personas restantes que aparecen en los datos de análisis son autores o coautores de 1 o 2 documentos.

Cuatro de los autores mencionados presentan como filiación a la Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (Alemania), mientras que los demás pertenecen a la Universidad

Tecnológica del Perú, al The Institute for Physical Activity and Nutrition (Australia) y a la Universidad Nacional del Callao (Perú).

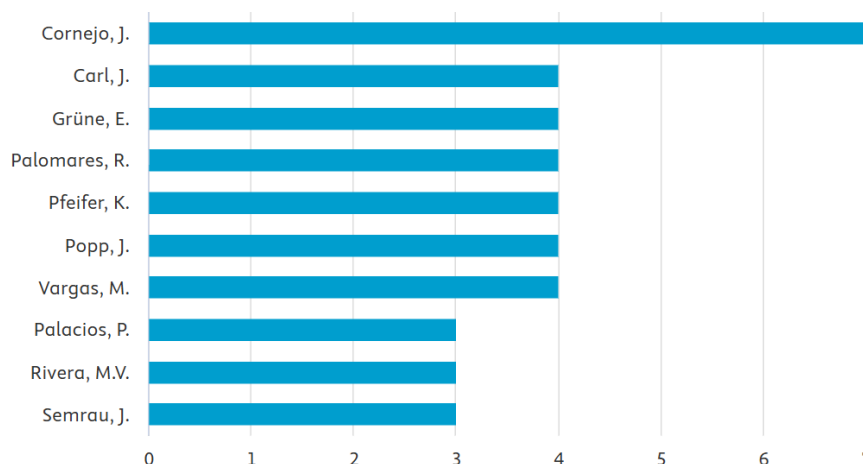


Figura 3. Número de artículos por autor.

En cuanto a los tópicos tratados, la Figura 4 evidencia las palabras que se repiten con mayor frecuencia, como "mechatronics", "human", y "robotics", las que resaltan la convergencia entre tecnología y medicina. Esta integración es crucial para el desarrollo de soluciones innovadoras, como dispositivos protésicos, sistemas de rehabilitación y robots quirúrgicos. En contexto, se observa que los términos de uso común en los artículos analizados se relacionan directamente con el cuidado de la salud y medicina humana, y por el lado de la tecnología con la mecatrónica, el aprendizaje automatizado, los sistemas embebidos y la inteligencia artificial.

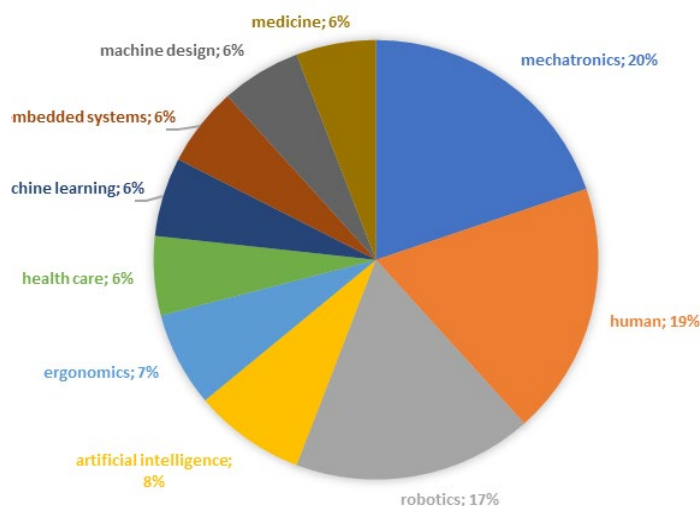


Figura 4. Palabras clave de mayor uso.

En la Figura 5, se observa la coocurrencia de palabras clave, el total de documentos analizados presenta 1.164 palabras, de estas se consideran aquellas que presentan como mínimo 10 ocurrencias, con lo cual se genera una red con una fortaleza total de 63, conformada por 11 palabras clave y 34 enlaces.

En el mapa de red, las palabras clave están representadas por su nombre y un círculo, cuyo tamaño depende de la cantidad de documentos en los que aparece la palabra; los nodos se conectan con líneas que forman vínculos, mismos que se miden a partir de las veces que son incluidas mutuamente en los documentos revisados. El grosor de la línea representa la fortaleza del vínculo.

Además, los grupos formados en el análisis de coocurrencia (se formaron tres grupos y al resultar 11 términos, se parametrizó cada grupo con un tamaño de 1 componente) reflejan áreas bien definidas de investigación: medicina humana, sistemas embebidos y aprendizaje de máquinas, y mecatrónica e inteligencia artificial, lo que subraya la multidisciplinariedad inherente a esta área de estudio.

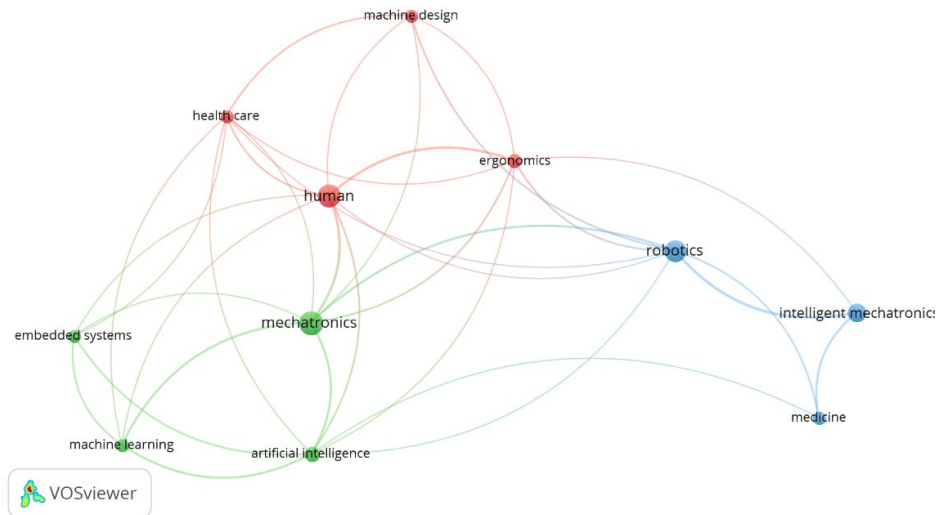


Figura 5. Coocurrencia de palabras clave.

En la Tabla 2 se muestra la cantidad de ocurrencias de las palabras clave, en ellas se destacan: mechatronics con 17, human con 16, robotics con 15 y intelligent mechatronics con 12; por tanto, se puede apreciar que los artículos revisados están directamente relacionados con investigaciones de la mecatrónica aplicada al ser humano, de manera más puntual a aspectos médicos y de cuidado personal como lo demuestran las palabras: health care, medicine, ergonomics y exercise.

Tabla 2. Ocurrencias de palabras clave.

Palabra clave	Ocurrencias
mechatronics	17
human	16
robotics	15
intelligent mechatronics	12
article	11
humans	10
artificial intelligence	7
ergonomics	6
exercise	5
machine learning	5
health care	5
embedded systems	5
machine design	5
covid-19	5
medicine	5
engineering education	5

Finalmente, refiriéndose a los artículos más relevantes respecto del número de citas (Tabla 3), el que presenta el mayor valor es “High-performance strain sensors based on bilayer carbon black/PDMS hybrids”, siendo la publicación más representativa, esto se da ya que se trabajó en un sensor de deformación basado en una estructura híbrida bicapa con aplicaciones potenciales en campos de monitoreo de la salud y detección de movimiento humano [24].

Le sigue el artículo “Anatomical Engineering and 3D Printing for Surgery and Medical Devices: International Review and Future Exponential Innovations”. Esta muestra los resultados de aplicar impresión tridimensional en la industria médica, ya que permite a los bioprofesionales diseñar y desarrollar piezas únicas utilizando imágenes médicas proporcionadas por tomografía computarizada y la resonancia magnética [25].

El tercero es “Sheath-Core Fiber Strain Sensors Driven by in-Situ Crack and Elastic Effects in Graphite Nanoplate Composites”, siendo ampliamente referenciado, ya que se enfoca en emplear ingeniería de efecto elástico y de fisura sinérgica para el diseño de dispositivos nanocompuestos basados en grafito y nanoplaquetas, aplicados en tecnología de atención médica, robótica y mecatrónica [26].

Los demás artículos mostrados en la tabla presentan entre 37 y 24 citas, de los cuales es importante destacar a “Haptics-enabled Interactive NeuroRehabilitation Mechatronics: Classification, Functionality, Challenges and Ongoing Research”, el cual hace énfasis en la mecatrónica de neurorehabilitación como resultado de la fusión entre la biomecatrónica y la ingeniería neural; esta área cubre diversas tecnologías mecatrónicas existentes que ayudan a los pacientes a recuperar sus funciones motoras perdidas debido a daños neuronales y/o físicos [27].

Tabla 3. Número de citas por artículo.

Título	Autor	Revista	Año	Citas
High-performance strain sensors based on bilayer carbon black/PDMS hybrids [24].	Hu M.; Gao Y.; Jiang Y.; Zeng H.; Zeng S.; Zhu M.; Xu G.; Sun L.	Advanced Composites and Hybrid Materials	2021	99
Anatomical Engineering and 3D Printing for Surgery and Medical Devices: International Review and Future Exponential Innovations [25].	Cornejo J.; Cornejo-Aguilar J.A.; Vargas M.; Helguero C.G.; Milanezi De Andrade R.; Torres-Montoya S.; Asensio-Salazar J.; Rivero Calle A.; Martínez Santos J.; Damon A.; Quiñones-Hinojosa A.; Quintero-Consuegra M.D.; Umaña J.P.; Gallo-Bernal S.; Briceño M.; Tripodi P.; Sebastian R.; Perales-Villarreal P.; De La Cruz-Ku G.; McKenzie T.; Arruarena V.S.; Ji J.; Zuluaga L.; Haehn D.A.; Paoli A.; Villa J.C.; Martinez R.; Gonzalez C.;	BioMed Research International	2022	69

	Grossmann R.J.; Escalona G.; Cinelli I.; Russomano T.			
Sheath-Core Fiber Strain Sensors Driven by in-Situ Crack and Elastic Effects in Graphite Nanoplate Composites [26].	Wu J.; Ma Z.; Hao Z.; Zhang J.T.; Sun P.; Zhang M.; Liu Y.; Cheng Y.; Li Y.; Zhong B.; Zhang T.; Xia L.; Yao W.; Huang X.; Wang H.; Liu H.; Yan F.; Hsu C.E.; Xing G.	ACS Applied Nano Materials	2019	48
Digital Twin of a Magnetic Medical Microrobot with Stochastic Model Predictive Controller Boosted by Machine Learning in Cyber-Physical Healthcare Systems [28].	Neghab H.K.; Jamshidi M.B.; Neghab H.K.	Information	2022	37
Haptics-enabled Interactive NeuroRehabilitation Mechatronics: Classification, Functionality, Challenges and Ongoing Research [27].	Atashzar S.F.; Shahbazi M.; Patel R.V.	Mechatronics	2019	31
Physical activity promotion for apprentices in nursing care and automotive mechatronics-competence counts more than volume [29].	Carl J.; Grüne E.; Popp J.; Pfeifer K.	International Journal of Environmental Research and Public Health	2020	28
Biomechatronic embedded system design of sensorized glove with soft robotic hand exoskeleton used for rover rescue missions on mars [30].	Palacios P.; Cornejo J.; Rivera M.V.; Napan J.L.; Castillo W.; Ticllacuri V.; Reina A.D.; Chaves-Jimenez A.; Jamanca-Lino G.; Chavez J.C.	2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference, IEMTRONICS 2021 - Proceedings	2021	27

User-Centered Design and Development of the Modular TWIN Lower Limb Exoskeleton [31].	Laffranchi M.; D'Angella S.; Vassallo C.; Piezzo C.; Canepa M.; De Giuseppe S.; Di Salvo M.; Succi A.; Cappa S.; Cerruti G.; Scarpetta S.; Cavallaro L.; Boccardo N.; D'Angelo M.; Marchese C.; Saglia J.A.; Guanziroli E.; Barresi G.; Semprini M.; Traverso S.; Maludrottu S.; Molteni F.; Sacchetti R.; Gruppioni E.; De Michieli L.	Frontiers in Neurorobotics	2021	26
Mechatronic Systems Design of ROHNI-1: Hybrid Cyber-Human Medical Robot for COVID-19 Health Surveillance at Wholesale-Supermarket Entrances [32].	Nope-Giraldo R.M.; Illapuma-Ccallo L.A.; Cornejo J.; Palacios P.; Napan J.L.; Cruz F.; Palomares R.; Cornejo-Aguilar J.A.; Vargas M.	Global Medical Engineering Physics Exchanges/ Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE)	2021	24

Cabe destacar que los artículos más citados durante este periodo abordan tecnologías emergentes, como sensores de deformación y sistemas de impresión 3D aplicados a dispositivos médicos. Esto sugiere que las aplicaciones prácticas, especialmente aquellas relacionadas con el monitoreo de la salud y la personalización de tratamientos, tienen un impacto significativo en la comunidad científica y clínica.

4. DISCUSIÓN

El análisis bibliométrico presentado sobre la mecatrónica aplicada a la salud permite reflexionar sobre diversos aspectos clave en el desarrollo de esta disciplina, que ha ganado terreno de forma progresiva en las últimas décadas. La mecatrónica, como campo transdisciplinario que combina mecánica, electrónica, informática e inteligencia artificial, ha encontrado en la medicina un terreno fértil para aplicar sus capacidades innovadoras, generando soluciones disruptivas en diagnóstico, tratamiento y rehabilitación. Sin embargo, este estudio muestra que, aunque el interés en la temática se ha mantenido constante en los últimos cinco años, aún no se observa un crecimiento exponencial en la producción científica, lo cual plantea desafíos y oportunidades a considerar.

Uno de los aspectos más relevantes es la variabilidad anual en el número de publicaciones, lo cual puede ser indicativo de varios factores: limitaciones en la financiación, falta de colaboración internacional, o la presencia de barreras interdisciplinarias entre la ingeniería y la medicina. Esta tendencia invita a fomentar políticas que impulsen la investigación conjunta entre universidades, hospitales y centros de innovación tecnológica, así como estrategias que promuevan la publicación de resultados en revistas de alto impacto.

Desde una perspectiva geográfica, el liderazgo de Estados Unidos en número de publicaciones resulta predecible, dado su ecosistema científico altamente desarrollado. No obstante, es alentador

observar la presencia de países como India, China y algunos europeos, lo que indica un esfuerzo global por posicionar la mecatrónica médica como una herramienta clave en la transformación de los servicios de salud. En contraste, el rezago de América Latina en esta área destaca la necesidad de mayor visibilidad internacional, acceso a fuentes de financiamiento y fortalecimiento de redes de colaboración regionales.

En cuanto a los tópicos abordados, la fuerte presencia de términos como "robotics", "embedded systems", "artificial intelligence" y "machine learning" evidencia la interdependencia entre la mecatrónica y las tecnologías emergentes. Este cruce disciplinar es crucial, ya que las soluciones médicas actuales exigen cada vez más sistemas inteligentes capaces de adaptarse a los entornos clínicos y a las necesidades de los pacientes. El énfasis en tecnologías hápticas, sensores inteligentes y dispositivos protésicos confirma esta convergencia entre el diseño tecnológico y la mejora de la calidad de vida.

Adicionalmente, el estudio resalta el valor de la investigación bibliométrica como herramienta para mapear el conocimiento, identificar autores líderes y evaluar el impacto de publicaciones. Autores como José Cornejo y universidades como la Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg aparecen como referentes en esta temática, lo cual puede servir de guía para establecer futuras colaboraciones académicas.

Finalmente, es importante destacar que los artículos más citados están enfocados en innovaciones aplicadas directamente al cuerpo humano, como sensores de deformación, impresión 3D médica y rehabilitación neurohábil. Esto refleja un claro interés por la creación de dispositivos de interfaz directa con el paciente, subrayando la importancia del diseño centrado en el ser humano en la investigación mecatrónica médica.

Finalmente, aunque se evidencia una base sólida y un interés creciente en la mecatrónica aplicada a la salud, es indispensable fomentar la colaboración internacional, la inversión en I+D y la visibilización del trabajo científico en regiones menos representadas. La mecatrónica médica no solo representa un área de innovación tecnológica, sino también un espacio donde se redefinen los límites del cuidado de la salud y se abren nuevas posibilidades para mejorar la vida de millones de personas en todo el mundo.

5. CONCLUSIONES

Las técnicas bibliométricas empleadas han permitido identificar una tendencia sostenida en la producción científica relacionada con la mecatrónica aplicada a la medicina, con Estados Unidos liderando la investigación global. Sin embargo, el desarrollo desigual entre regiones y la falta de representación de investigaciones latinoamericanas en bases de datos internacionales destacan la necesidad de fortalecer colaboraciones y visibilidad.

Los resultados evidencian la capacidad de la mecatrónica para integrar disciplinas tecnológicas y médicas, impulsando innovaciones como sensores avanzados, robótica médica y sistemas de impresión 3D. Estas tecnologías tienen un impacto significativo en la personalización de tratamientos y en el avance de la atención médica.

No obstante, el desarrollo futuro de esta disciplina requiere abordar desafíos éticos, como la protección de datos personales, y fomentar una mayor inversión en proyectos transdisciplinarios. Asimismo, se deben diseñar estrategias para incrementar la participación en redes de investigación internacionales, especialmente en regiones en desarrollo.

En conclusión, la mecatrónica se consolida como una herramienta clave en la transformación de la medicina moderna, con un potencial significativo para mejorar la calidad de vida de los pacientes. Su avance dependerá de la capacidad para integrar tecnologías innovadoras, fortalecer colaboraciones globales y garantizar la ética en su implementación.

REFERENCIAS

- [1] W. Bolton, *Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica*, 2a ed. Barcelona: Marcombo, 2002.
- [2] M. D'Addario, *Mecatrónica: Procesos, Métodos y Sistemas*, California: Createspace, 2018.
- [3] J. Chen, et al., "AI for Manufacturing and Healthcare: a chemistry and engineering perspective", ArXiv preprint, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2405.01520>
- [4] J. Granados Ferreira, "El impacto de la inteligencia artificial en los trabajadores despedidos por automatización de servicios", *Rev. CES Derecho*, vol. 14, no. 3, pp. 62-81, dic. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21615/cesder.7416>
- [5] Grupo Europeo de Ética en la Ciencia y las Nuevas Tecnologías. Declaración sobre inteligencia artificial, robótica y sistemas 'autónomos'. Marzo 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/332061758_Traduccion_de_la_Declaracion_sobre_Inteligencia_artificial_robotica_y_sistemas_autonomos_del_Grupo_Europeo_sobre_Etica_de_la_Ciencia_y_las_Nuevas_Tecnologias
- [6] C. H. Limaymanta Albares, H. Zulueta-Rafael, C. Restrepo-Arango, y P. Alvarez-Muñoz, "Análisis bibliométrico y cuantitativo de la producción científica de Perú y Ecuador desde Web of Science (2009-2018)", *Inf., Cult. Soc.*, no. 43, pp. 31–52, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.34096/ics.i43.7926>
- [7] F. Reyes Cortes, J. Cid Mojaraz, y E. Vargas Soto, *Mecatrónica: Control y Automatización*, México: Alfaomega, 2013.
- [8] M. S. Obaia, "Mechatronics brief history and applications", Mansoura University, 2016. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/320987534_Mechatronics_Brief_History_And_Applications
- [9] F. A. Guasmayan, "Diseño mecatrónico como acercamiento a la transdisciplinariedad en ingeniería mecatrónica", *Rev. Mutis*, vol. 13, no. 2, pp. 1–15, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21789/22561498.1988>
- [10] D. Bustamante, "Necesidades y situación actual de la matriz productiva para la creación de la Tecnología en Mecatrónica mención Procesos Industriales", Tesis de maestría, Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador - ESPE, Sangolquí, Ecuador. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/items/b6deb8b2-dd40-4fce-960c-e0664f4a3496>
- [11] B. Pineda Torres, Diseño e Implementación de un Laboratorio de Fundamentos de Mecatrónica para ITCA-FEPADE Centro Regional San Miguel. Escuela Especializada en Ingeniería Itca-Fepade. ITCA Editores. El Salvador, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/uploads/2021/02/05-SMG-Laboratorio-Mecatronica.pdf>
- [12] E. Larrondo Pons, G. Cervantes Montero, y A. Sánchez Roca, "Impacto de la mecatrónica en la medicina", *MEDISAN*, vol. 22, no. 4, abr. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://medisan.sld.cu/index.php/san/article/view/2059>
- [13] Y. M. Cedeño Cedeño, M. J. Pazmiño Chancay, H. D. V. D'Ilio Gil, y A. E. Aguirre Tello, "Cirugía robótica, la transición de la cirugía en la actualidad", *RECIAMUC*, vol. 6,

- no. 2, pp. 269-279, may. 2022. [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(2\).mayo.2022.269-279](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(2).mayo.2022.269-279)
- [14] J. Cornejo, J. A. Cornejo Aguilar, y J. P. Perales Villarroel, “Innovaciones Internacionales en Robótica Médica para Mejorar el Manejo del Paciente en Perú”, *Rev. Fac. Med. Humana*, vol. 19, no. 4, pp. 105–113, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.25176/rfmh.v19i4.2349>
- [15] P. A. Torres Fernández, "Acerca de los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación educativa cubana actual", *Atenas*, vol. 2, no. 34, pp. 1–15 2016. [En línea]. Disponible en: <https://monografias.umcc.cu/index.php/atenas/article/view/419>
- [16] E. M. Bartels, “How to perform a systematic search”, *Best Pract. & Res. Clin. Rheumatol*, vol. 27, no. 2, pp. 295–306, apr. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.berh.2013.02.001>
- [17] N. J. van Eck, y L. Waltman, “VOSviewer Manual, Amsterdam”, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.20.pdf
- [18] N. J. van Eck, L. Waltman, R. Dekker, and J. van den Berg, “A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional scaling and VOS”, *J. Amer. Soc. Inf. Sci. Technol*, vol. 61, no. 12, pp. 2405–2416, 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/asi.21421>
- [19] G. Génova, H. Astudillo, and A. Fraga, “The scientometric bubble considered harmful”, *Science and Engineering Ethics*, vol. 22, no. 1, pp. 227–235, feb. 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11948-015-9632-6>
- [20] S. Dutta, B. Lanvin, S. Wunsch, and L. León, *Global Innovation Index 2022: What is the Future of Innovation-driven Growth?*, 15° ed, Geneva: WIPO Publications. [Online]. Available: <https://doi.org/10.34667/tind.46596>
- [21] "Scimago Journal & Country Rank," Scimago Lab. [Online]. Available: <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=5100152904&tip=sid&clean=0>
- [22] "Scimago Journal & Country Rank," Scimago Lab. [Online]. Available: <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100782857&tip=sid&clean=0>
- [23] R. Rodríguez Muñoz, A. R. Socorro Castro, y J. L. León González, “El Índice H y la identidad digital de los investigadores en los sistemas científico-tecnológicos”, *Universidad Y Sociedad*, vol. 13, no. 5, pp. 165–174, sep. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2222?articlesBySameAuthorPage=2>
- [24] M. Hu et al., “High-performance strain sensors based on bilayer carbon black/PDMS hybrids,” *Advanced Composites and Hybrid Materials*, vol. 4, pp. 514–520, apr. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s42114-021-00226-z>
- [25] J. Cornejo et al., “Anatomical engineering and 3D printing for surgery and medical devices: international review and future Exponential Innovations”, *BioMed Research International*, vol. 2022, pp. 1–28, mar. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2022/6797745>
- [26] J. Wu et al., “Sheath–Core fiber strain sensors driven by in-Situ crack and elastic effects in graphite nanoplate composites”, *ACS Applied Nano Materials*, vol. 2, no. 2, pp. 750–759, jan. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/acsanm.8b01926>
- [27] S. F. Atashzar, M. Shahbazi, and R. V. Patel, “Haptics-enabled Interactive NeuroRehabilitation Mechatronics: Classification, functionality, challenges and ongoing

- research”, *Mechatronics*, vol. 57, pp. 1–19, nov. 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.03.002>
- [28] H. K. Neghab, M. Jamshidi, and H. K. Neghab, “Digital Twin of a Magnetic Medical Microrobot with Stochastic Model Predictive Controller Boosted by Machine Learning in Cyber-Physical Healthcare Systems,” *Information*, vol. 13, no. 7, p. 321, jul. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/info13070321>
 - [29] J. Carl, E. Grüne, J. Popp, and K. Pfeifer, “Physical Activity Promotion for Apprentices in Nursing Care and Automotive Mechatronics—Competence Counts More than Volume,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 3, p. 793, jan. 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/ijerph17030793>
 - [30] P. Palacios et al., “Biomechatronic Embedded System Design of Sensorized Glove with Soft Robotic Hand Exoskeleton Used for Rover Rescue Missions on Mars,” 2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), pp. 1–10, apr. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/iemtronics52119.2021.9422634>
 - [31] M. Laffranchi et al., “User-Centered design and development of the modular TWIN lower limb exoskeleton,” *Frontiers in Neurorobotics*, vol. 15, oct. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3389/fnbot.2021.709731>
 - [32] R. M. Nope-Giraldo et al., “Mechatronic Systems Design of ROHNI-1: Hybrid Cyber-Human Medical Robot for COVID-19 health surveillance at Wholesale-Supermarket entrances”, presentada en Global Medical Engineering Physics Exchanges/ Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE), España, 15-20 marzo, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/gmepe/pahce50215.2021.9434874>

Copyright (2025) © Darío Robayo-Jácome, Daniela Robayo-Sánchez y Mateo Robayo-Sánchez.

Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. También podrá adaptar: remezclar, transformar y construir sobre el material. [Ver resumen de la licencia](#).

