

Análisis bibliométrico de la predicción de lesiones en miembros inferiores

Bibliometric Analysis of the Prediction of Lower Limb Injuries

Andrés Felipe Villaquiran-Hurtado^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-6156-6425>

Marlon Felipe Burbano-Fernández² <https://orcid.org/0000-0001-5356-7885>

Viviana Marcela Celis-Quinayás¹ <https://orcid.org/0000-0002-3567-9012>

Jeffrey Alexander Hoyos-Quisoboni¹ <https://orcid.org/0000-0001-6147-5622>

¹Universidad del Cauca, Facultad Ciencias de la Salud. Popayán, Colombia.

²Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Popayán, Colombia.

* Autor para la correspondencia: avillaquiran@unicauca.edu.co

RESUMEN

Este artículo realiza un análisis bibliométrico acerca de la predicción de lesiones en extremidades inferiores. Para ello se parte de una búsqueda bibliográfica en las bases de datos Scopus y Web of Science durante el período 2018-2022, utilizando cadenas booleanas de búsqueda. Se empleó un *software* de gestión documental, la minería de texto y un mapeo sistemático para encontrar las tendencias a nivel mundial. En cuanto a los resultados, se tuvieron en cuenta 4838 documentos. En los últimos cinco años existe un interés por centrar las investigaciones en palabras como “machine learning”, “deep learning”, “rehabilitation”, “gait” y “electromyography”. Cuando el foco es la palabra “injury” sobresale la red que se genera con las palabras: “machine learning”, “injury prevention”, “prediction”, “running” y “knee”. En lo que concierne a la predicción de lesiones de extremidades inferiores, las

publicaciones han aumentado durante los últimos cinco años y centran su atención en los pacientes para la aplicación de modelos de datos en función del control y la rehabilitación. Se muestran focos de atención y redes entre las palabras “injury prevention”, “machine learning” y “rehabilitation”. Las investigaciones futuras deben centrar sus esfuerzos en determinar la variabilidad y la especificidad de los procesos de aprendizaje automático utilizados para la prevención y el control, teniendo en cuenta el tejido, el tipo de lesión, la zona y la articulación afectada.

Palabras clave: bibliometría; extremidad inferior; predicción; rehabilitación; aprendizaje automático.

ABSTRACT

This article covers a bibliometric analysis on the prediction of lower extremity injuries. To achieve this, we started with a bibliographic search in Scopus and Web of Science databases from 2018 to 2022, using Boolean search strings. Document management software, text mining and systematic mapping were used to find global trends. Regarding the results, 4838 documents were taken into account. In the last five years there has been an interest in focusing research on words such as “machine learning”, “deep learning”, “rehabilitation”, “gait” and “electromyography”. When the focus is on the word “injury”, the network that is generated with the words “machine learning”, “injury prevention”, “prediction”, “running” and “knee” stands out. Regarding the prediction of lower extremity injuries, publications have increased over the last five years and focus their attention on patients for the application of data models based on control and rehabilitation. Focuses and networks are shown among the words “injury prevention”, “machine learning” and “rehabilitation”. Future research should focus efforts on determining the variability and specificity of machine learning processes used for prevention and control, taking into account the tissue, type of injury, area and joint affected.

Keywords: bibliometrics; lower extremity; prediction; rehabilitation; machine learning.

Recibido: 17/01/2023

Aceptado: 16/10/2023

Introducción

Durante el último tiempo la adopción y el mantenimiento de una conducta basada en la práctica regular de actividad física o ejercicio y/o la participación en algún deporte se ha convertido en una prioridad de salud pública,⁽¹⁾ estos comportamientos están asociados a una disminución en la aparición de enfermedades no transmisibles, así como también, favorecen la salud mental y social.^(2,4) Sin embargo, las lesiones musculoesqueléticas son una problemática significativa asociada a la actividad física y el deporte.⁽⁵⁾ Dentro de las lesiones más frecuentes se encuentran las que afectan las extremidades inferiores.

Existen muchos avances en la tecnología, en particular en mecanismos de búsqueda de la información;⁽⁶⁾ es así como todos los profesionales involucrados en las ciencias de la salud deben estar actualizados en sus aplicaciones para poder realizar investigación científica.⁽⁷⁾ En el siguiente artículo se demuestra el uso de las herramientas de gestión de la información, aplicado al contexto de la fisioterapia, la actividad física y el deporte, específicamente, a la búsqueda de artículos científicos que relacionen las lesiones musculoesqueléticas de los miembros inferiores.

Para determinado fin se utiliza la bibliometría, la cual aplica métodos matemáticos y estadísticos a toda la literatura de carácter científico y a los autores que la producen con el objetivo de estudiar y analizar la actividad científica,⁽⁸⁾ teniendo en cuenta los indicadores bibliométricos, definidos como datos estadísticos derivados de las distintas características de las publicaciones científicas, que proporcionan información acerca de los resultados de la investigación actualizada en términos de cantidad, estabilidad y visibilidad internacional de los investigadores y de los grupos de investigación.⁽⁹⁾ De esta manera, el análisis y la evaluación de la información y el conocimiento resultantes de la actividad científica son elementos imprescindibles para la investigación y el desarrollo que se implementan en su proceso y es allí donde la Ciencia de la Información brinda una ayuda inestimable, al desarrollar técnicas e instrumentos para medir la producción de conocimiento y su transformación en recursos científicos, encaminados en la mejora de la salud.

A pesar de que existe información general sobre la predicción de lesiones en miembros inferiores, aún no hay trabajos que evidencien el seguimiento de las publicaciones científicas, relacionadas con su evaluación, prevención, control, mitigación, “*machine learning*”, “*Deep learning*”, inteligencia artificial, entre otras.⁽¹⁰⁾ El objetivo de este estudio fue desarrollar una revisión de la literatura que permitiera identificar las tendencias y otros

indicadores relevantes sobre la predicción en lesiones de miembros inferiores a partir del uso de la inteligencia artificial (IA).

Métodos

Se llevó a cabo una investigación descriptiva, retrospectiva y de tipo bibliométrico para analizar la literatura relacionada con la predicción de lesiones en miembros inferiores, que permitiera identificar las tendencias y otros indicadores relevantes.

Para ello se plantea un diseño metodológico en tres pasos definidos como momento 1, momento 2 y momento 3. El momento 1 corresponde a la captura de los datos en bases de datos científicas indexadas. El momento 2 hace analítica de grandes volúmenes de datos a partir del uso de *software* cienciométrico y de análisis de datos que se apoya en algoritmos de *clustering*, *machine learning*, minería de texto e inteligencia artificial. El momento 3 recopila las reflexiones y hallazgos que se encuentran en el momento 1 y 2 a modo de discusión y conclusiones.

Momento 1: captura de datos

Para la captura de datos se llevó a cabo una búsqueda en las bases de datos de Scopus y *Web of Science* (WoS). Para restringir los resultados se usaron cadenas booleanas en la búsqueda de documentos que recopilan información acerca de lesiones en miembros inferiores y algoritmos para predicción. La información descargada constó de archivos .RIS y CSV. La búsqueda se realizó en junio de 2022 y se actualizó en noviembre de 2022. Igualmente, con ayuda de las herramientas de análisis integradas en las bases de datos, especialmente de Scopus, se obtuvo información relevante, en este caso el país de procedencia de los documentos.

Momento 2: uso de *software* cienciométrico

Se emplearon tres *softwares* para el análisis: *Scimat*, *VosViewer* y la minería de texto con R:

- *Scimat*: debido a que se emplearon dos bases de datos para encontrar la información, fue necesario el uso de una herramienta que permitiera juntar la información para poder preprocesar los datos y conseguir visualizarlos datos.⁽¹¹⁾ *Scimat* permitió leer los archivos .RIS, tanto de Scopus como de WoS, de forma que se logró consolidar un banco de información procedente de las dos bases de datos. A partir de esto, se consiguió encontrar los documentos publicados por cada año, la documentación repetida y los artículos más citados por período de tiempo.
- *VosViewer*: Para encontrar los focos temáticos que constituyen la literatura científica abordada se empleó el *software* de visualización de información bibliográfica VOSviewer, el cual a partir de la densidad de las palabras clave de los documentos encontrados realiza un mapeo que se traduce en gráficos de calor, que representan la frecuencia de repetición de los documentos y la proximidad con otros y los gráficos de grafos, que representan las relaciones que hay entre diferentes temáticas, así como la creación de agrupamientos con base en las relaciones y proximidad de las palabras clave.⁽¹²⁾
- *Minería de Texto con R*: a partir de los *abstracts* descargados de los diferentes artículos se hizo la construcción de un gráfico de nube de palabras, que representa, según el tamaño, las palabras con mayor frecuencia de uso y según la centralidad, qué tan próximas están con relación a las otras palabras. También se construyó un gráfico de agrupamiento jerárquico de las palabras H-Clust.⁽¹³⁾

Momento 3: discusión y conclusiones

Una vez se obtuvieron los resultados desde la captura de datos y el análisis con los *software* cuantitativos, se procedió a revisar los hallazgos encontrados: evaluar las tendencias y enfatizar en la literatura con un mayor detalle, realizando un mapeo sistemático, con el fin de encontrar, a partir de artículos de interés, las tendencias en el campo de la predicción de las lesiones en los miembros inferiores que puedan aportar al desarrollo de un algoritmo de predicción para las lesiones en miembros inferiores que se acople al contexto colombiano.

Resultados

Resultados de la captura de datos

Para la captura de datos en Scopus y WoS se emplearon cadenas booleanas de búsqueda (“Lower limbs Injury AND (Prediction OR Machine Learning OR Algorithm)) OR (ankle Injury) AND (Prediction OR Machine Learning OR Algorithm”) con un filtro por años, que comprende el período de 2018 a 2023. Las búsquedas se realizaron en julio de 2022. En la Tabla 1, se muestran las cadenas de búsqueda empleadas y los resultados obtenidos en términos de número de documentos por año.

Tabla 1 - Número de documentos por año en las bases de datos Scopus y WoS

Año	Número de documentos por año en Scopus	Número de documentos por año en WoS
	Ecuación booleana de búsqueda: (Lower limbs Injury AND (Prediction OR Machine Learning OR Algorithm)) OR (ankle Injury AND (Prediction OR Machine Learning OR Algorithm))	Ecuación booleana de búsqueda: TS = ((Lower limbs Injury AND (Prediction OR Machine Learning OR Algorithm)) OR (ankle Injury AND (Prediction OR Machine Learning OR Algorithm)))
2022	885	59
2021	1383	116
2020	1042	97
2019	812	62
2018	725	49

Fuente: Elaboración propia.

Los datos se descargaron en archivos .RIS y .CSV para su posterior análisis a través de las herramientas *software* usadas para el desarrollo de este trabajo.

Resultados del uso de *software* *cientiométrico*

Resultados con SciMat

Posteriormente, haciendo uso de la herramienta SciMat, se consigue juntar los documentos de las bases de datos de Scopus y WoS. Los datos se consolidan en un documento de hoja de cálculo que contiene la información de los textos de las dos bases de datos. La tabla 2, resume los datos descargados de las bases de datos Scopus y WoS, donde se muestran los documentos en total, incluyendo los repetidos, los documentos en total, sin incluir los documentos repetidos y los documentos que se repiten por cada período (2018-2022).

Tabla 2 - Resumen datos de los documentos descargados de Scopus y WoS

	Documentos incluidos los repetidos	Documentos sin duplicados	Documentos repetidos
2018	725	725	0
2019	812	811	1
2020	1042	1036	6
2021	1380	1379	1
2022	888	887	1
Total	4847	4838	9

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos del análisis se consideró el banco de datos de los elementos sin repetición, es decir que se tuvieron en cuenta 4838 documentos.

La tabla 2 muestra el comportamiento de las publicaciones realizadas en el período 2018-2022. Se debe tener en cuenta que del 2018 al 2021 se observa un crecimiento en las publicaciones, sin embargo, pese a que en el año 2022 se observan menos publicaciones de documentos en relación con los temas indagados, hay que tener en cuenta que hasta la fecha de la búsqueda (julio de 2022) no se tiene consolidado el total de artículos por año en ninguna de las dos bases de datos, por lo que se espera que en el año 2022 continúe el

crecimiento de las publicaciones que asocian predicción, algoritmos y lesiones en miembros inferiores.

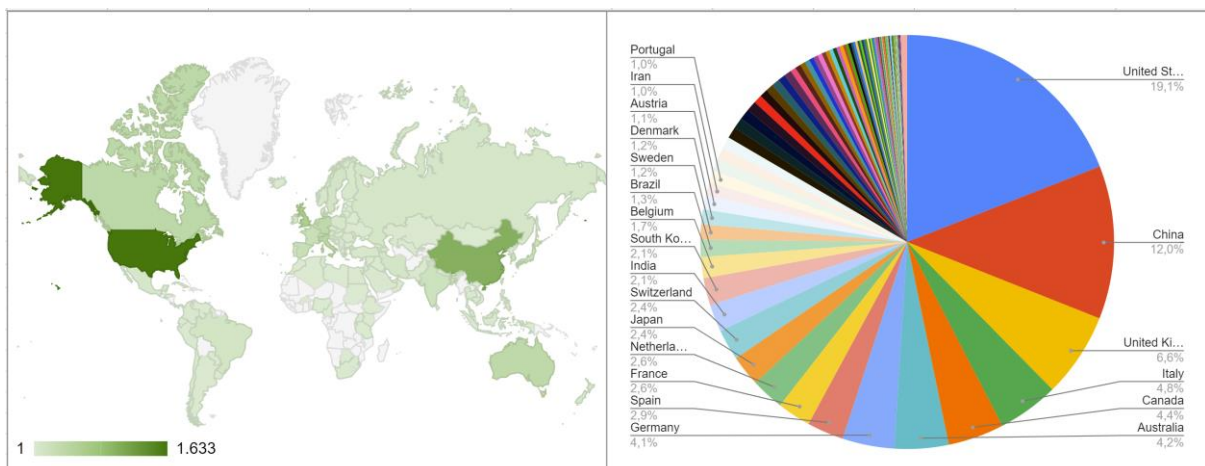
A través de la visualización que ofrece Scimat se consigue establecer (tabla 3) las revistas con mayor número de publicaciones y se logra observar la procedencia geográfica de los documentos (fig. 1).

Tabla 3 - Revistas con 15 o más publicaciones del 2018 al 2022

Revistas	Documentos
<i>Sensors</i>	133
<i>Sensors (Switzerland)</i>	122
<i>Applied Sciences (Switzerland)</i>	78
<i>Scientific Reports</i>	73
<i>IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation</i>	72
<i>IEEE Access</i>	69
<i>PLoS ONE</i>	63
<i>Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation</i>	52
<i>Jornal of Biomechanics</i>	49
<i>Frontiers in Neurorobotics</i>	44
<i>Journal of Neural Engineering</i>	38
<i>Frontiers in Neuroscience</i>	37
<i>Frontiers in Bioengineering and Biotechnology</i>	36
<i>International Journal of Environmental Research and Public</i>	36
<i>Frontiers in Neurology</i>	34
<i>Journal of Healthcare Engineering</i>	31
<i>Gait and Posture</i>	29
<i>Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society</i>	26
<i>Biomedical Signal Processing and Control</i>	25
<i>Frontiers in Human Neuroscience</i>	24
<i>Frontiers in Physiology</i>	22
<i>IEEE Transactions on Biomedical Engineering</i>	22
<i>Lecture Notes in Computer Science (including subseries)</i>	22

<i>Journal of Clinical Medicine</i>	20
<i>IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics</i>	20
<i>Journal of Neurophysiology</i>	19
<i>IEEE Sensors Journal</i>	18
<i>IEEE Robotics and Automation Letters</i>	18
<i>Sports Medicine</i>	18
<i>Brain Sciences</i>	17
<i>Applied Bionics and Biomechanics</i>	17
<i>Machines</i>	16
<i>International Journal of Molecular Sciences</i>	16
<i>Electronics (Switzerland)</i>	16
<i>Annals of Biomedical Engineering</i>	15

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia

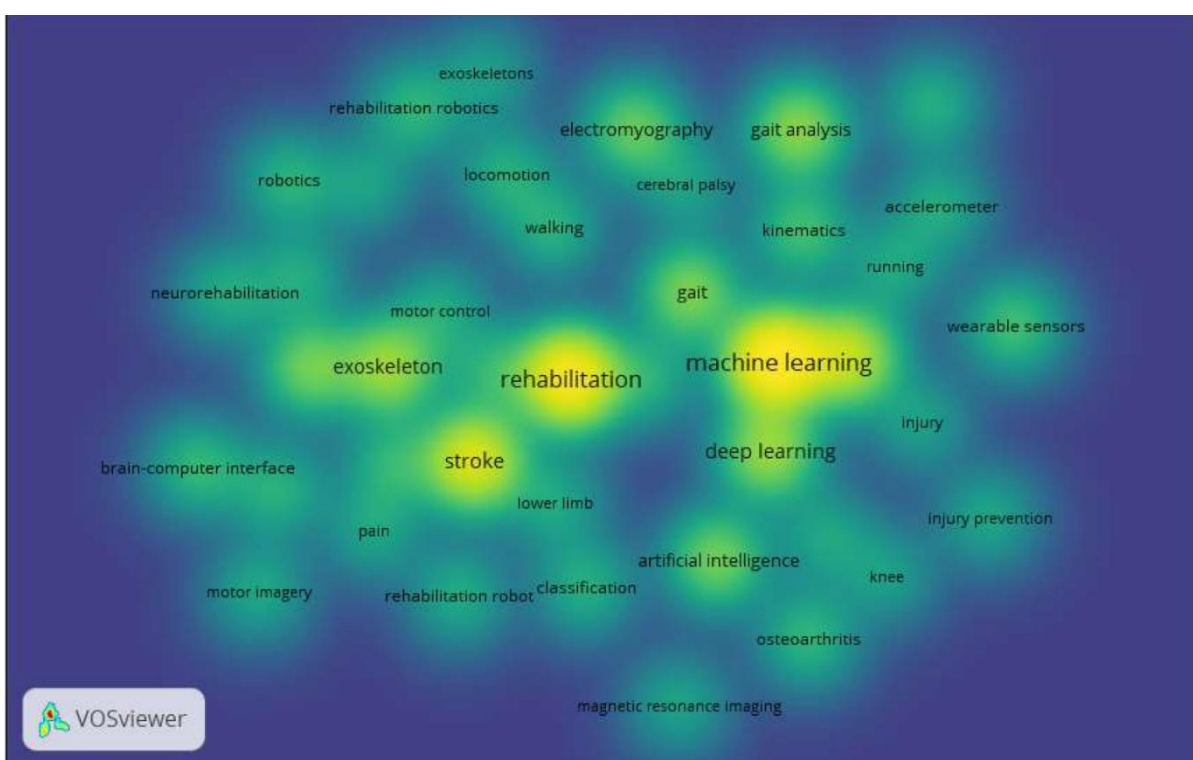
Fig. 1 – Procedencia geográfica de los documentos encontrados en el período 2018 a 2022.

Resultados con VOSviewer

A partir del *software* cuantitativo VOSviewer,⁽¹²⁾ alimentado con los archivos .RIS, se consiguen visualizar los tópicos que son más frecuentes, con un mapa de calor. Esto se puede observar en la figura 2. En este caso se emplean las palabras clave asociadas a cada documento. La mayor frecuencia del uso de una palabra clave genera un color más claro en la figura (un tono más amarillo). La proximidad entre las palabras clave se observa de

acuerdo con la cercanía entre las diferentes palabras y la centralidad en la gráfica obedece a los tópicos con mayor relevancia.

El diagrama de calor de VOSviewer demuestra que en los últimos cinco años hay una atención e interés por centrar las investigaciones en palabras como “machine learning”, “Deep learning”, “rehabilitation”, “gait” y “electromyography”, las cuales muestran un color amarillo cálido que se asocia con que en la actualidad la información científica existente gira en torno a estas palabras clave. Por su parte, palabras como “accelerometer”, “wearables sensors”, “injury prevention” tienen un color más tenue y frío (fig. 2).

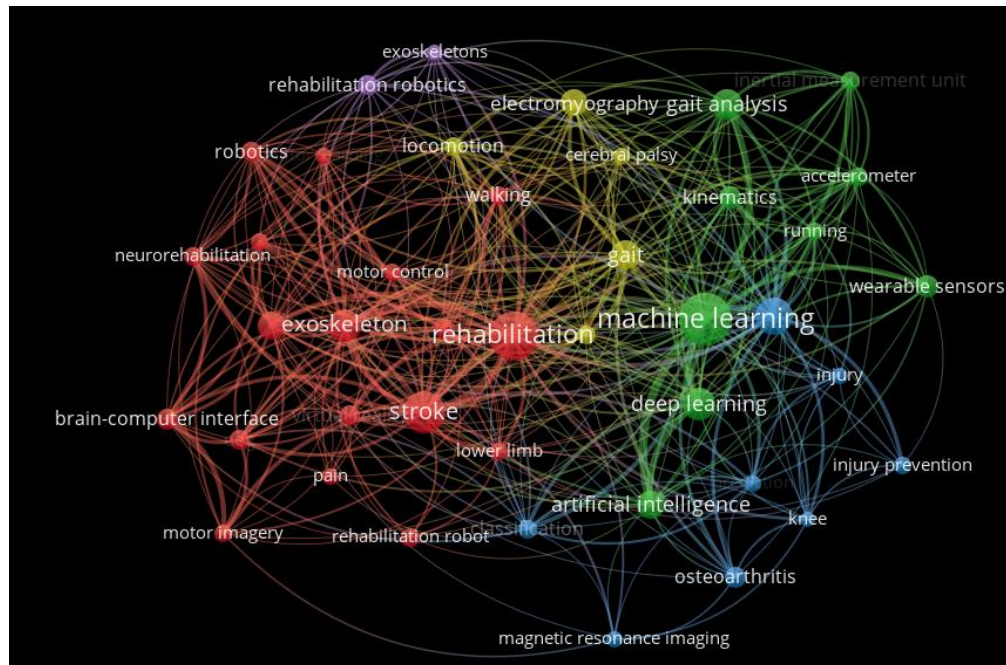


Fuente: Elaboración propia a partir del *software* Vosviewer.

Fig. 2 – Mapa de calor de los tópicos más relevantes para las búsquedas en Scopus y WoS.

En la figura 3 se pueden observar las asociaciones existentes, pues se colocan los focos de atención sobre las palabras: “machine learning”, “injury”, “prediction” y “gait”. Al respecto se visualiza la asociación entre las palabras “machine learning”, “running”, “kinematics” y “gait analysis”; además, cuando el foco recae en la palabra “prediction”; se puede destacar la asociación con las palabras “injury”, “classification”, “machine learning” y “Deep

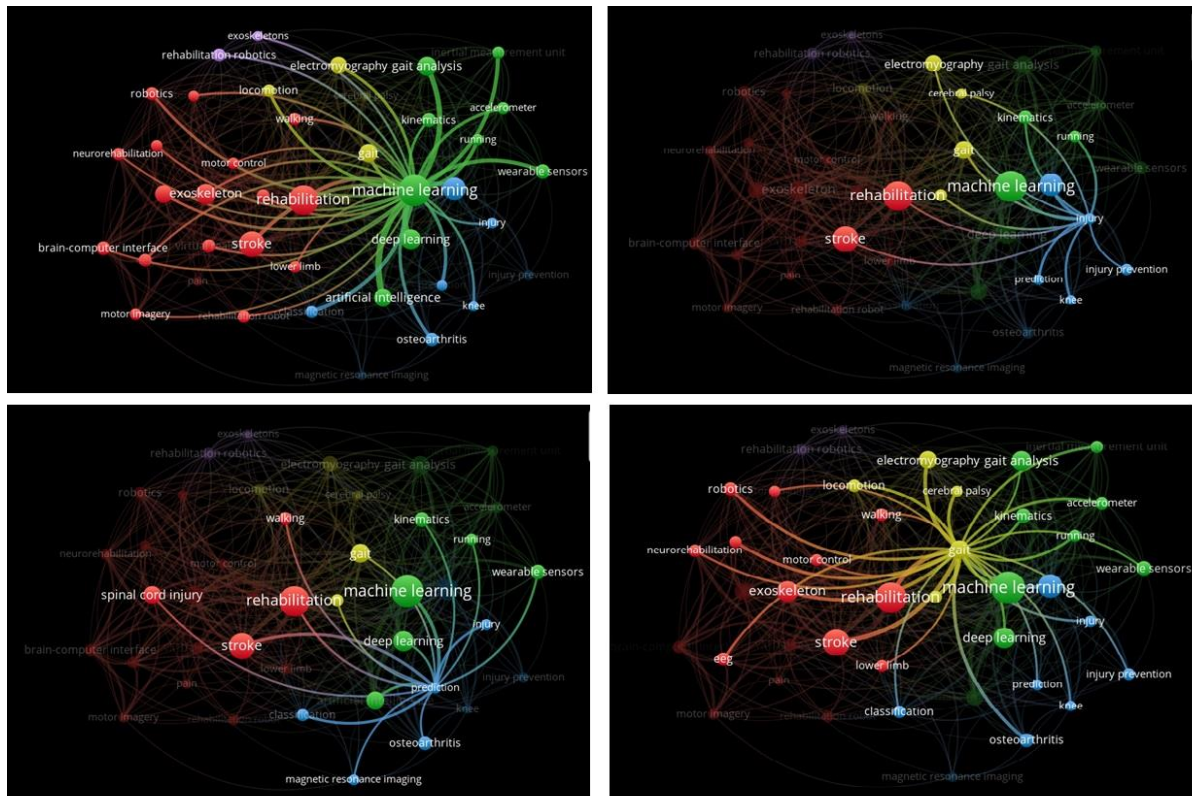
learning”. Mientras que cuando el foco es la palabra “injury” se sobresale la red que se genera con las palabras: “machine learning”, “injury prevention”, “prediction”, “running” y “knee”.



Fuente: Elaboración propia a partir del software Vosviewer.

Fig. 3 – Diagrama de grafos y clústers generados de las búsquedas en Scopus y WoS.

Otro resultado encontrado con VOSviewer se corresponde a los diagramas de grafos y clústeres. En este caso, cada grafo corresponde a un tópico encontrado a partir de las *keywords*. Los grafos están enlazados entre sí con líneas que muestran la relaciones entre ellos y para el agrupamiento (clústeres) de varios tópicos, los grafos se organizan por colores. La figura 4 muestra los resultados, al enfocar las palabras: “machine learning”, “injury”, “prediction” y “gait”.



Fuente: Elaboración propia a partir del software Vosviewer.

Fig. 4 – Focos de asociación en las palabras: “machine learning”, “injury”, “prediction” y “gait”.

Resultados de minería de texto usando R

A partir del lenguaje R se consigue hacer la minería de texto sobre los resúmenes de los documentos estudiados con el fin de encontrar características comunes y relevantes en ellos. Se optaron por dos resultados, el primero corresponde a una nube de palabras, que muestra en su parte central y de tamaño mayor las palabras que son más frecuentes dentro de los resúmenes de los documentos (fig. 5). También, a partir de técnicas de *machine learning*, se consigue agrupar las palabras más cercanas en los resúmenes. Esto se realiza mediante un algoritmo de h-clust (clústeres jerárquicos) y su resultado se observa en la figura 6.

Discusión

La producción científica que se encuentra en las bases de datos de Scopus y WoS, en lo que refiere a lesiones de miembros inferiores y algoritmos para su predicción, tiene como característica que se encuentra un incremento en la producción de artículos y se observa que en la base de datos Scopus la producción es mayor. Si bien las cadenas de búsqueda que se usaron en las dos bases de datos son equivalentes, los documentos repetidos no son significativos. En todo caso se realiza el análisis de 4838 documentos, de los cuales solo nueve se encontraron repetidos en WoS y Scopus.

Realizar un análisis detallado de los 4838 documentos resultaría una labor muy tediosa; es aquí donde la productividad se incrementa y cobra gran relevancia el uso de *softwares* cuantitativos. En este caso se acude a Scimat, Citespace y lenguaje R. Scimat se empleó para encontrar las revistas con más publicaciones en las cadenas de búsqueda y la elaboración de un mapa geográfico que muestra la procedencia de las publicaciones.

Se observa que las revistas que contienen mayores publicaciones son aquellas que centran sus contenidos en tópicos de Ingeniería con transversalidad en tópicos de salud. Esto puede indicar que el uso de algoritmos para la predicción es abarcado desde la ingeniería y entre sus muchas aplicaciones e intereses de aplicaciones prácticas se encuentran las lesiones y su predicción.

Desde el punto de vista geográfico se observa que Estados Unidos y China realizan una cantidad considerable de aportes. En el caso de Europa las contribuciones son pocas, si se realiza un análisis por países; sin embargo, en conjunto como región tienen una cantidad considerable de aportes al campo. Se observa que, en África, el centro y sur de América son muy pocos los aportes realizados en el área de interés de este documento. En este sentido, se puede ver que China, Estados Unidos y Europa, como región, son potencias industriales, y requieren la consolidación de sus tecnologías desde el punto de vista académico y que sus aportes sean reconocidos por una comunidad científica.

En el campo de los estudios bibliométricos la representación gráfica a través de mapas se ha convertido en una herramienta importante para visualizar redes de citación, de coautoría o relaciones de coocurrencia entre palabras clave,⁽¹¹⁾ lo que permite realizar una representación gráfica de relación por medio de nodos y aristas (grafos) y su fuerza de relación.⁽¹²⁾ Por lo anterior, la creación de un mapa científico que permita observar y

destacar la red de asociación que existe en los últimos cinco años entre las palabras “lower limb injury”, prediction y “algorithm” que establezca la coocurrencia entre estos términos en la literatura científica.

Este estudio bibliométrico encontró 4838 publicaciones con un ascenso de divulgación en los últimos años. Al respecto, Jauhiainen y otros mencionan que los enfoques explicativos de las investigaciones realizadas en este campo se han limitado a explicar la incidencia de lesiones, mediante asociaciones lineales y aisladas, descuidando la multifactorialidad e interrelación de las variables. Esto hace necesario implementar estudios de modelos explicativos, junto con análisis predictivos a través de algoritmos que permitan establecer y detectar variables con poder predictivo, lo que puede explicar el aumento en el número de artículos publicados.⁽¹⁰⁾

Otra de las posibles razones que pueden haber generado este aumento de las investigaciones es el incremento de las lesiones de los miembros inferiores, las cuales tienen un impacto negativo sobre la función laboral y la productividad.⁽¹⁴⁾ Por otra parte, las lesiones de las extremidades inferiores se han relacionado con la práctica de deportes como el fútbol, el baloncesto y el voleibol,⁽¹⁵⁾ lo que limita la participación y genera altos costos para los sistemas de salud.⁽¹⁶⁾ Esto se relaciona con una disminución de la calidad de vida y el bienestar de las personas.⁽¹⁷⁾

En cuanto a las revistas de publicación, se puede referenciar que los enfoques están relacionados con la Neurociencia, la Ingeniería Biomédica y la Bioingeniería. Sobre esto, se ha mencionado que el uso de modelos de aprendizaje automático ha mostrado resultados prometedores, en cuanto a la predicción de lesiones;^(18,19) sin embargo, se deben continuar ampliando los procesos de investigación que analicen la utilización de esta tecnología en la identificación de factores de riesgo para lesiones musculoesqueléticas de miembros inferiores; lo que favorece la toma de decisiones en la aplicación de medidas preventivas que disminuyan su prevalencia.

Adicionalmente, el desarrollo de las investigaciones en la temática en los últimos años ha orientado las publicaciones hacia revistas con un área temática con enfoque en la Bioingeniería y el desarrollo tecnológico en la salud. Reyes y Moraga afirman que las publicaciones deben alcanzar una adecuada visibilidad, por tanto, la selección de la revista científica debe ser un paso fundamental para el investigador y es quien debe realizar la búsqueda de la revista con la orientación temática adecuada, así como, tener en cuenta el

proceso de evaluación, la periodicidad de publicación, el factor de impacto, el prestigio de la revista y los costos de publicación, que permitan cumplir con los propósitos, la orientación temática del manuscrito y la divulgación e impacto.⁽²⁰⁾

El interés investigativo que ha suscitado el “machine learning” y “deep learning” en la rehabilitación se ha dado, en los últimos años, por el creciente aumento de lesiones y accidentes de miembros inferiores, en lo que la inteligencia artificial resulta de gran ayuda para la monitorización del progreso en el proceso de rehabilitación y la asistencia al desarrollo de evaluaciones del movimiento y la marcha en trastornos neuromusculares.⁽²¹⁾ Asimismo, el *machine learning* puede ayudar a reducir las restricciones espaciales y temporales de los sistemas de captura de movimiento durante el análisis de la marcha y facilitar la predicción de datos de movimiento no medidos, la dinámica de las articulaciones y las fuerzas de reacción.⁽²²⁾

De la misma manera, la red observada entre “machine learning”, “rehabilitation” y “gait analysis”, puede deberse a la necesidad de implementar técnicas de inteligencia artificial para el análisis de una gran cantidad de datos, imágenes y la creación de algoritmos que predigan patrones de movimiento, lo que favorece el diagnóstico precoz, el aprendizaje dinámico y mejora la eficiencia computacional y las estrategias de seguimiento en la rehabilitación.⁽²³⁾

Por su parte, la asociación entre la palabra “Deep learning” y “rehabilitation” puede darse gracias a las ventajas que puede producir la utilización de “Deep learning” junto con sistemas robóticos de rehabilitación de las extremidades inferiores, lo cual puede incidir en el correcto entrenamiento, reducir costos, pérdidas de tiempo y el exceso de paradas de emergencia durante el ejercicio.⁽²⁴⁾ Adicionalmente, el *Deep learning* puede utilizarse en el análisis cinemático durante la rehabilitación, el entrenamiento o la competición, por lo que es una solución económica y adaptable a los sistemas de análisis cinemático en 2D.⁽²⁵⁾

Entretanto, la red visualizada entre las palabras “injury”, “prediction” y “machine learning” puede deberse a que los programas de prevención de lesiones se han priorizado, al intentar que disminuya la incidencia de lesiones asociadas con el ejercicio y el deporte.⁽²⁶⁾ Dentro de la implementación de estos programas, se han identificado dos pasos fundamentales: determinar la incidencia y establecer los factores de riesgo asociados a la lesión deportiva, los cuales son fundamentales para analizar el impacto generado por estas estrategias preventivas.⁽²⁷⁾ Sobre estos dos aspectos, los métodos de aprendizaje automático, como

subconjunto de la inteligencia artificial, pueden gestionar grandes bases de datos, al utilizar algoritmos que aprenden a partir de datos reales, para predecir resultados más precisos, con análisis más predictivos y dinámicos que permitan gestionar, controlar y mitigar la incidencia de lesiones.⁽²⁸⁾

Otra de las asociaciones reportadas en este estudio bibliométrico es entre las palabras “machine learning” y “electromyography”; esta relación puede deberse al aumento en el uso de la inteligencia artificial para favorecer el procesamiento de la señal mioeléctrica, que permite estimar la fuerza muscular a partir de la activación muscular. Esto ha llevado al aumento de las investigaciones que basan la predicción de la fuerza en modelos matemáticos.⁽²⁹⁾

A su vez, la electromiografía de superficie viene siendo usada para mejorar la detección y prevención de la fatiga muscular; sin embargo, el uso de las señales bioeléctricas sigue siendo complejo, debido a la variabilidad y los multicomponentes que influyen en la contracción dinámica. Es por esto que el uso de métodos de aprendizaje automático puede favorecer el diseño de sistematización automática de estas señales, mediante la frecuencia temporal que permita mostrar las variaciones registradas en la contracción dinámica del músculo.⁽³⁰⁾

Haciendo uso de lenguaje R y con metodologías para la minería de texto, se encuentra que los documentos estudiados centran su atención en los pacientes y, a partir de ellos, se buscan modelos, sistemas, procesos de rehabilitación y rendimiento. Esto a partir de estudios de control y de la analítica de datos (fig. 5).

Finalmente, el diagrama HClust (fig. 6) muestra que la palabra común en un nivel más alto y que tiene relación con otras palabras es “pacientes”. Los pacientes en un nivel inferior tienen relación con las palabras control y rehabilitación y esta, a su vez, divide su relación en dos grupos inferiores, uno que contiene las palabras modelo y datos y el otro grupo las palabras de sistemas, clínica, parte baja del cuerpo, estudios, desempeño, investigación, análisis, métodos y diferentes comparaciones. Esto indica que, al igual que la nube de palabras, los documentos se centran en los pacientes, desde el punto de vista de aplicar modelos de datos para control y rehabilitación, que involucren sistemas, clínicas, estudios de desempeño, investigaciones con análisis, métodos que encuentren diferencias a partir de las comparaciones.

Conclusiones

Desde un punto demográfico se observa que el mayor número de publicaciones se concentra en los Estados Unidos, China y Europa. Esto consolida estas regiones como potencias industriales con una hegemonía económica y grandes avances en la interdisciplinariedad en los temas de salud e ingeniería en el campo de la predicción de lesiones. El hallazgo señala también un afán de estos países por compartir los diferentes hallazgos con una comunidad científica. En contraste se observa que, en regiones como Latinoamérica y África, no se observan muchas contribuciones.

El crecimiento de las publicaciones en tópicos particulares de investigación se puede observar fácilmente. En este caso se aprecia que año a año hay un incremento en la cantidad de documentos publicados en las bases de datos indexadas. En este sentido, realizar un análisis detallado de los documentos encontrados de forma manual resultaría una labor muy tediosa y desgastante en términos de recursos. Es aquí donde cobra gran relevancia el uso de *softwares* cuantitativos. En este caso se acude a *software* de apoyo para el análisis de múltiples datos, como lo son Scimat, Citespace y lenguaje R, los cuales permiten analizar estos grandes volúmenes de información y brindar un panorama de cuáles son los temas con mayor relevancia dentro este contexto investigativo. Además, el crecimiento de las publicaciones indica que la investigación en este campo de la predicción de lesiones ha contribuido a crear una mayor conciencia sobre la importancia del cuidado de las personas en relación con las lesiones de miembros inferiores.

Si bien es cierto que el campo de la predicción de lesiones está enmarcado en los temas de salud, ha cobrado gran relevancia la interdisciplinariedad, lo que en los últimos años trae consigo el interés por parte de la ingeniería y la ciencia de datos. Los resultados muestran que, actualmente, al poder almacenar y procesar grandes volúmenes de datos, la ingeniería puede aportar en el uso de algoritmos y dispositivos que apoyen al personal de salud para la predicción de lesiones, lo que abre el campo a estudios de carácter interdisciplinario para futuras investigaciones.

El análisis cuantitativo muestra que la predicción de lesiones en miembros inferiores es un tópico de interés para la investigación que relaciona y genera redes de interés entre palabras como “machine learning”, “injury prediction” y “rehabilitation”, lo que muestra la interacción entre la tecnología y la salud. Las futuras investigaciones deben propender a centrar sus enfoques en determinar y establecer los procesos más adecuados para controlar

y gestionar, de manera específica y con enfoque multivariable, cada zona, tejido o articulación de los miembros inferiores.

Este tipo de análisis bibliométrico permite un mayor conocimiento acerca de las posibilidades de investigación que se vienen dando en cuanto a la predicción de lesiones de miembros inferiores mediante el uso de la IA, lo cual puede generar un mayor interés de los profesionales de la salud, educadores e investigadores en la necesidad de ampliar los estudios, que permitan avanzar en el cuidado de la salud de las personas. Además de generar mejores respuestas en la prevención de lesiones de miembros inferiores en el ámbito de la salud pública, de lo laboral, deportivo y social y favorecer el desarrollo humano de los individuos.

Los resultados muestran un crecimiento continuo en la investigación relacionada con la predicción de lesiones en miembros inferiores, principalmente la que hace uso de conjuntos de datos y utiliza algoritmos asociados al “machine learning” y al “deep learning”. En este sentido, se puede intuir que estos temas de investigación pueden guiar futuros estudios en este campo, al ser útiles para investigadores y profesionales interesados en el desarrollo de algoritmos de predicción de lesiones.

Referencias bibliográficas

1. Ley C. Participation Motives of Sport and Exercise Maintainers: Influences of Age and Gender. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(21):7830. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17217830>
2. Menhas R, Dai J, Ashraf MA, M Noman S, Khurshid S, Mahmood S, *et al*. Physical Inactivity, Non-Communicable Diseases and National Fitness Plan of China for Physical Activity. *Risk Manag Healthc Policy*. 2021;14:2319-31. DOI: <https://doi.org/10.2147/RMHP.S258660>
3. Andersen MH, Ottesen L, Thing LF. The social and psychological health outcomes of team sport participation in adults: An integrative review of research. *Scand J Public Health*. 2019;47(8):832-50. DOI: <https://doi.org/10.1177/1403494818791405>

4. Eime RM, Young JA, Harvey JT, Charity MJ, Payne WR. A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport for children and adolescents: informing development of a conceptual model of health through sport. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2013;10(1):98. DOI: <https://doi.org/10.1186/1479-5868-10-98>
5. Emery CA, Pasanen K. Current trends in sport injury prevention. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2019;33(1):3-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.berh.2019.02.009>
6. Li Y, Shan B, Li B, Liu X, Pu Y. Literature Review on the Applications of Machine Learning and Blockchain Technology in Smart Healthcare Industry: A Bibliometric Analysis. *J Healthc Eng.* 2021;2021:1-11. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9739219>
7. Karnuta JM, Luu BC, Haeberle HS, Saluan PM, Frangiamore SJ, Stearns KL, *et al.* Machine Learning Outperforms Regression Analysis to Predict Next-Season Major League Baseball Player Injuries: Epidemiology and Validation of 13,982 Player-Years from Performance and Injury Profile Trends, 2000-2017. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(11):2325967120963046. DOI: <https://doi.org/10.1177/2325967120963046>
8. Cascajares M, Alcayde A, Salmerón-Manzano E, Manzano-Agugliaro F. The Bibliometric Literature on Scopus and WoS: The Medicine and Environmental Sciences Categories as Case of Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(11):5851. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18115851>
9. Ninkov A, Frank JR, Maggio LA. Bibliometrics: Methods for studying academic publishing. *Perspect Med Educ.* 2022;11(3):173-76. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40037-021-00695-4>
10. Jauhiainen S, Kauppi JP, Leppänen M, Pasanen K, Parkkari J, Vasankari T, *et al.* New Machine Learning Approach for Detection of Injury Risk Factors in Young Team Sport Athletes. *Int J Sports Med.* 2021;42(2):175-82. DOI: <https://doi.org/10.1055/a-1231-5304>
11. Van Eck NJ, Waltman L. Text mining and visualization using VOSviewer. 2011;1-5. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1109.2058>
12. van Eck NJ, Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics.* 2010;84(2):523-38. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.

13. Murtagh F, Legendre P. Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion? *J Classif.* 2014; 31: 274–295. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z>
14. Holsteen KK, Choi YS, Bedno SA, Nelson DA, Kurina LM. Gender differences in limited duty time for lower limb injury. *Occup Med (Lond).* 2018;68(1):18-25. DOI: <https://doi.org/10.1093/occmed/kqx169>
15. Dallinga JM, Benjaminse A, Lemmink KAPM. Which screening tools can predict injury to the lower extremities in team sports?: A systematic review. *Sports Med.* 2012;42(9):791-815. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03262295>
16. Lu D, McCall A, Jones M, Steinweg J, Gelis L, Fransen J, *et al.* The financial and performance cost of injuries to teams in Australian professional soccer. *Journal of science and medicine in sport.* 2021;24(5):463-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.11.004>
17. Marshall AN, Snyder Valier AR, Yanda A, Lam KC. The Impact of a Previous Ankle Injury on Current Health-Related Quality of Life in College Athletes. *J Sport Rehabil.* 2020;29(1):43-50. DOI: <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0249>
18. Van Eetvelde H, Mendonça LD, Ley C, Seil R, Tischer T. Machine learning methods in sport injury prediction and prevention: a systematic review. *J Exp Orthop.* 2021;8(1):27. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40634-021-00346-x>
19. Ayala F, López-Valenciano A, Gámez Martín JA, De Ste Croix M, Vera-García F, García-Vaquero M, *et al.* A Preventive Model for Hamstring Injuries in Professional Soccer: Learning Algorithms. *Int J Sports Med.* 2019;40(5):344-53. DOI: <https://doi.org/10.1055/a-0826-1955>
20. Reyes Rodríguez A, Moraga Muñoz R. Criterios de selección de una revista científica para postular un artículo: breve guía para no 'quemar' un *paper*. *Sophia.* 2020;16(1):93-109. DOI: <https://doi.org/10.18634/sophiaj.16v.1i.977>
21. Gautam A, Panwar M, Biswas D, Acharyya A. MyoNet: A Transfer-Learning-Based LRCN for Lower Limb Movement Recognition and Knee Joint Angle Prediction for Remote Monitoring of Rehabilitation Progress From sEMG. *IEEE J Transl Eng Health Med.* 2020;8:1-10. DOI: <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2020.2972523>

22. Lim H, Kim B, Park S. Prediction of Lower Limb Kinetics and Kinematics during Walking by a Single IMU on the Lower Back Using Machine Learning. *Sensors (Basel)*. 2019;20(1):130. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20010130>
23. Khera P, Kumar N. Role of machine learning in gait analysis: a review. *J Med Eng Technol*. 2020;44(8):441-67. DOI: <https://doi.org/10.1080/03091902.2020.1822940>
24. Cha B, Lee K-H, Ryu J. Deep-Learning-Based Emergency Stop Prediction for Robotic Lower-Limb Rehabilitation Training Systems. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2021;29:1120-8. DOI: <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2021.3087725>
25. Cronin NJ, Rantalainen T, Ahtiainen JP, Hynynen E, Waller B. Markerless 2D kinematic analysis of underwater running: A deep learning approach. *Journal of biomechanics*. 2019;87:75-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.02.021>
26. Al Attar WSA, Khaledi EH, Bakhsh JM, Faude O, Ghulam H, Sanders RH. Injury prevention programs that include balance training exercises reduce ankle injury rates among soccer players: a systematic review. *J Physiother*. 2022;68(3):165-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2022.05.019>
27. Mailuhu AKE, van Rijn RM, Stubbe JH, Bierma-Zeinstra, SMA, van Middelkoop M. Incidence and prediction of ankle injury risk: a prospective cohort study on 91 contemporary preprofessional dancers. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2021;7(2):e001060. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001060>
28. Karnuta J, Luu B, Haeberle H, Saluan P, Frangiamore S, Stearns K, *et al*. Machine Learning Outperforms Regression Analysis to Predict Next-Season Major League Baseball Player Injuries: Epidemiology and Validation of 13,982 Player-Years from Performance and Injury Profile Trends, 2000-2017. *Orthop J Sports Med*. 2020;8(11):2325967120963046. DOI: <https://doi.org/10.1177/2325967120963046>
29. Mokri C, Bamdad M, Abolghasemi V. Muscle force estimation from lower limb EMG signals using novel optimized machine learning techniques. *Medical & biological engineering & computing*. 2022;68(3):683-99. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11517-021-02466-z>
30. Karthick PA, Ghosh DM, Ramakrishnan S. Surface electromyography-based muscle fatigue detection using high-resolution time-frequency methods and machine learning

algorithms. *Computer Methods and Programs in Biomed.* 2018;154:45-56. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.cmpb2017.10.024>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Marlon Felipe Burbano, Andrés Felipe Villaquiran-Hurtado.

Curación de datos: Marlon Felipe Burbano, Andrés Felipe Villaquiran-Hurtado.

Análisis formal: Marlon Felipe Burbano, Andrés Felipe Villaquiran-Hurtado.

Investigación: Viviana Marcela Celis y Jeffry Alexander Hoyos.

Metodología: Marlon Felipe Burbano, Andrés Felipe Villaquiran-Hurtado, Viviana Marcela Celis y Jeffry Alexander Hoyos.

Software: Marlon Felipe Burbano.

Supervisión: Andrés Felipe Villaquiran-Hurtado.

Validación: Marlon Felipe Burbano, Andrés Felipe Villaquiran-Hurtado, Viviana Marcela Celis y Jeffry Alexander Hoyos.

Visualización: Marlon Felipe Burbano, Andrés Felipe Villaquiran-Hurtado, Viviana Marcela Celis y Jeffry Alexander Hoyos.

Redacción – borrador original: Marlon Felipe Burbano, Andrés Felipe Villaquiran-Hurtado, Viviana Marcela Celis y Jeffry Alexander Hoyos.

Redacción – revisión y edición: Marlon Felipe Burbano, Andrés Felipe Villaquiran-Hurtado, Viviana Marcela Celis y Jeffry Alexander Hoyos.