



# RECONOCIMIENTO DE TÉCNICAS OFENSIVAS EN ARTES MARCIALES: UN MAPEO SISTEMÁTICO

*Jairo Josue Cristobal Franco\**  
*Antonio Armando Aguilera Güemez\*\**  
*Francisco Moo Mena\*\*\**  
*Jorge Carlos Reyes Magaña\*\*\*\**

Received: 20/09/2023 • Accepted: 08/01/2024

<https://doi.org/10.22395/rium.v23n44a3>

## **Resumen**

Motivación: la identificación precisa de golpes y patadas en competencias deportivas de artes marciales es un asunto crítico, a menudo complicado y, en ocasiones, sujeto a controversias debido a la apreciación subjetiva de los árbitros. Problema: la subjetividad en la evaluación de golpes y patadas durante las competencias deportivas de artes marciales plantea un desafío significativo en términos de imparcialidad y precisión en el arbitraje. Enfoque de solución: este estudio se centra en el análisis de las contribuciones más recientes en el campo del reconocimiento de golpes y patadas en competencias de artes marciales. Se revisan técnicas de clasificación y sensores comúnmente utilizados. Resultados: el análisis proporciona una visión general de las técnicas de clasificación implementadas en el reconocimiento de golpes y patadas. Esto contribuye a la comprensión de los avances recientes en este campo y cómo pueden mejorar la objetividad y precisión en el arbitraje de las competencias de artes marciales. Conclusiones: este estudio destaca el creciente interés en técnicas de aprendizaje automático para clasificar golpes y patadas en artes marciales, abarcando una amplia gama de clasificadores, desde métodos tradicionales hasta modelos de aprendizaje profundo. La combinación de sensores inerciales y cámaras profundas se presenta como

---

\* Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas. E-mail: A15003270@alumnos.uady.mx

\*\* Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas. Autor de correspondencia: aaguilet@correo.uady.mx Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5155-3543>

\*\*\* Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas. E-mail: mmena@correo.uady.mx Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8812-2525>

\*\*\*\* Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas. E-mail: mmena@correo.uady.mx Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8296-1344>

una vía prometedora. Se anticipa que futuras investigaciones compararán y caracterizarán exhaustivamente estos enfoques, allanando el camino para la implementación de sistemas de inteligencia artificial en competencias de artes marciales, lo que podría revolucionar la objetividad en la evaluación de movimientos en este deporte.

*Palabras clave:* reconocimiento de actividades, artes marciales, taekwondo, patadas, sensores, clasificadores, mapeo sistemático.

## RECOGNITION OF OFFENSIVE TECHNIQUES IN MARTIAL ARTS: A SYSTEMATIC MAPPING STUDY

### **Abstract**

**Motivation:** The precise identification of punches and kicks in martial arts sporting competitions is a critical issue, often complex, and at times subject to controversies due to the subjective judgment of referees. **Problem:** The subjectivity in assessing punches and kicks during martial arts sporting competitions poses a significant challenge regarding impartiality and accuracy in refereeing. **Solution Approach:** This study analyzes the most recent contributions to punch and kick recognition in martial arts competitions. It reviews classification techniques, commonly used sensors, and the performance achieved in identifying these movements. **Results:** The analysis provides a general overview of implemented punch and kick classification techniques. This contributes to understanding recent advancements in this field and how they can enhance objectivity and precision in refereeing martial arts competitions. **Conclusions:** This study underscores the growing interest in machine learning techniques for classifying punches and kicks in martial arts, encompassing a wide range of classifiers, from traditional methods to deep learning models. The combination of inertial sensors and depth cameras emerges as a promising avenue. Future research is expected to thoroughly compare and characterize these approaches, paving the way for implementing artificial intelligence systems in martial arts competitions and potentially revolutionizing the objectivity in assessing movements in this sport.

*Keywords:* activity recognition, martial arts, taekwondo, kicking, sensors, classifiers, systematic mapping.

## INTRODUCCIÓN

El taekwondo es un arte marcial originario de Corea del Sur, que data de mediados del siglo xx [1], el cual se convirtió en deporte olímpico oficial en los Juegos Olímpicos de Sydney 2000 [2]. Dicho deporte ha dependido del criterio de los jueces para otorgar puntos y sancionar actos prohibidos. Ejemplos de estos son agarrar, empujar o realizar patadas prohibidas ya que no pertenecen al taekwondo [3-4]. Dicho criterio ha causado controversias a lo largo del tiempo, debido principalmente a dos razones: depender del posicionamiento del árbitro con respecto a los atletas y no poder asegurar la imparcialidad y objetividad de la máxima autoridad en las competencias [5-6].

Debido a estas controversias, el taekwondo se ha visto en la necesidad de incorporar nuevas tecnologías a lo largo del tiempo. Como la introducción de nuevos equipos de protección electrónicos o Protection Scoring System (PSS) para automatizar el registro de puntos [7, 9]. Los PSS consisten en sensores de proximidad y sensores de impacto para medir la fuerza de las técnicas de pateo [7-8]. La primera aparición oficial de los PSS fue en el Campeonato Mundial de Taekwondo en Copenhague, Dinamarca, en el año 2009 [10]. Durante este evento, únicamente se utilizaron en los protectores del tronco del cuerpo para ser estos los que determinen los puntos. Posteriormente se introdujeron los PSS en los cascos para los Juegos Olímpicos de Río 2016 [11]. Sin embargo, los PSS cuentan con la limitante de no poder identificar las técnicas prohibidas y las técnicas de giro [3]. Debido a que los sensores utilizados únicamente son capaces de medir la zona de impacto y la fuerza con la que este se aplica [7-8].

Actualmente, los jueces son los encargados de otorgar los puntos adicionales por técnicas de giro, así como de sancionar e invalidar las técnicas ilegales (*monkey kick*, *fish kick* y *scorpion kick* [5]). En consecuencia, estas sanciones están sujetas a la visión circunstancial y subjetiva de los jueces [3, 9]. Para eliminar dicha intervención de la apreciación humana en deportes, recientemente se han utilizado técnicas de aprendizaje máquina (un área de la inteligencia artificial) [12]. En específico, tales técnicas han servido como soporte principal en múltiples deportes, para estandarizar la respuesta a determinadas acciones o actividades, por ejemplo, el fútbol y el básquetbol [13-14].

Hasta donde tenemos conocimiento, en revisiones anteriores, se ha abordado el análisis de técnicas de aprendizaje máquina, aunque este no era el enfoque principal de dichos estudios. En su lugar, el enfoque predominante de estos mapeos sistemáticos se ha centrado en la biomecánica y el análisis de la fuerza, velocidad y aceleración aplicados a las técnicas ofensivas en las artes marciales, con el propósito de mejorar el rendimiento de los atletas. Los investigadores se han dedicado a explorar cómo la biomecánica y el análisis de estos parámetros cinéticos pueden contribuir de manera significativa a optimizar la ejecución de técnicas ofensivas en las artes marciales.

En estos estudios, el objetivo ha sido comprender mejor los movimientos, las fuerzas aplicadas y las aceleraciones involucradas en las técnicas, con el fin de proporcionar a los atletas información valiosa para mejorar su desempeño en la competencia [15-17]. Por lo tanto, en este mapeo sistemático se revisará el estado del arte del reconocimiento de técnicas de combate en artes marciales, como, por ejemplo, patadas prohibidas y de giro en el taekwondo, karate, kendo, entre otras, con la intención de identificar los modelos de aprendizaje máquina supervisado más utilizados, los sensores empleados y los tipos de actividades en el contexto de este estudio.

## 1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para poder encontrar artículos relevantes de forma estructurada y repetible se empleó un mapeo sistemático [18-19], el cual proporciona una visión general amplia del estado del arte, lo cual permite observar de forma objetiva el avance y alcance de las investigaciones relacionadas al tema. El proceso para llevar a cabo un estudio de mapeo se describe en las siguientes subsecciones.

Figura 1. Proceso de un mapeo sistemático



Fuente: elaboración propia.

- *Definiciones para la búsqueda.* En esta actividad se desarrolla el protocolo del estudio de mapeo sistemático, lo que implica un proceso para desarrollar el plan general del estudio. En esta etapa se plantean las preguntas de investigación y se definen los objetivos. En esta actividad se especifican las fuentes que se utilizan para realizar las búsquedas, se considera el idioma de los trabajos y se especifican los criterios de exclusión e inclusión.
- *Ejecución de la búsqueda.* En esta actividad se ejecuta el protocolo de estudio de mapeo, y la cadena de búsqueda definida se ejecuta en las fuentes definidas. Los resultados del documento se evalúan de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión. La información relevante de artículos se sintetiza y registra.

- *Discusión de los resultados.* Esta actividad implica informar los hallazgos del estudio de mapeo sistemático contribuyendo al avance de conocimiento.

### 1.1. Definición de preguntas de investigación

El fin de la investigación es conseguir una vista general del estado del arte, relacionado con la clasificación de actividades deportivas tomando como eje principal las artes marciales asiáticas, así como la evolución y comportamiento de los métodos de clasificación implementados en el área, por lo que se definieron las siguientes preguntas de investigación (PI):

- PI1. ¿Cuál es la distribución cronológica de las contribuciones?
- PI2. Por continente, ¿cuál es la distribución de los sensores utilizados por las contribuciones para el reconocimiento de actividades marciales?
- PI3. ¿Cuál es la distribución de los tipos de actividades marciales reconocidas por los métodos de clasificación?

### 1.2. Alcance de la investigación

Para poder delimitar el alcance de la investigación y a su vez asegurar cierto nivel de calidad en los estudios primarios investigados, se empleó la base de datos Scopus, la cual es una base de datos bibliográfica multidisciplinaria y una herramienta de análisis de investigación desarrollada por Elsevier. Esta base de datos proporciona acceso a una amplia gama de información académica, incluyendo artículos de revistas científicas, conferencias, libros y patentes de cientos de editoriales de todo el mundo [20]. Asimismo, se consideró como criterio de calidad de la información, el que los artículos estén indexados en Scopus, ya que las revistas recopiladas en dicha base de datos realizan revisiones por pares.

A continuación, se definió la cadena de búsqueda combinando los operadores lógicos “AND” y “OR” con los términos obtenidos de la pregunta de investigación. La tabla 1 presenta la cadena de búsqueda resultante. Esta cadena muestra que la mayoría de estos términos están relacionados con el reconocimiento de actividades deportivas mediante el uso de sensores inerciales.

Tabla 1. Cadena de búsqueda que se determinó para el estudio de mapeo

Cadena de búsqueda
Title-Abs-Key ((Karate Or “Martial Arts” Or Taekwondo) And (“Inertial Sensors” Or Accelerometer Or Imu Or Sensors) And (Recognition Or Classification Or “Artificial Intelligence”))

Fuente: elaboración propia.

Una vez determinadas las fuentes utilizadas y la cadena de búsqueda, se procedió a la selección de estudios primarios según criterios de inclusión (CI) y criterios de exclusión (CE). En la tabla 2 se muestran los criterios de inclusión y exclusión considerados en el estudio.

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión para el estudio

Criterios	Descripción
CI1	Artículos que contengan la totalidad del proceso de reconocimiento de la actividad humana en el contexto de la práctica de artes marciales.
CI2	Documentos en formato artículo.
CI3	Artículos que contengan en el título, <i>abstract</i> o <i>keywords</i> , términos relacionados al reconocimiento de la actividad deportiva y de las artes marciales.
CI4	Documentos que estén redactados o cuenten con una versión en inglés.
CI5	Documentos publicados en la ventana de tiempo de 2005 a 2023.
CE1	Documentos que no estén relacionados con los términos relacionados al reconocimiento de la actividad deportiva y artes marciales.
CE2	Documentos que se centren en la descripción de <i>frameworks</i> , o métodos aislados del proceso completo del reconocimiento de la actividad humana.

Fuente: elaboración propia.

Durante la selección de trabajos primarios se realizó una primera lectura superficial para comprobar el correcto cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión. Posteriormente, con las aportaciones seleccionadas, se realizó la lectura completa para el adecuado análisis en este trabajo. La tabla 3 muestra el número de documentos relevantes encontrados y el número de documentos seleccionados.

Tabla 3. Documentos encontrados y filtrados para este estudio

Fuente	Documentos encontrados	Documentos después del criterio de inclusión	Documentos después del criterio de exclusión
Scopus	43	33	20

Fuente: elaboración propia.

## 2. RESULTADOS

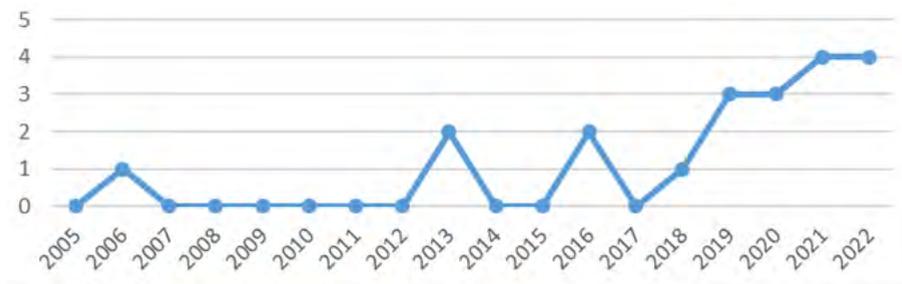
En esta sección se presentan los resultados obtenidos del mapeo sistemático realizado para la representación del estado del arte con relación a la clasificación de técnicas ofensivas utilizadas en artes marciales.

A través de un proceso riguroso y metodológico se identificaron los artículos relevantes sobre el tema. Los resultados brindan una visión general de la situación actual y permiten entender la variedad de las técnicas utilizadas en estos deportes, identificando las técnicas empleadas en el propio reconocimiento de dichas técnicas. Estos resultados pueden ser valiosos para entrenadores, atletas y árbitros de artes marciales.

## 2.1. PI1. ¿Cuál es la distribución cronológica de las contribuciones?

En primera instancia se presentará la distribución cronológica de las aportaciones revisadas en este estudio.

Figura 2. Distribución cronológica de aportaciones



Fuente: elaboración propia.

Las aportaciones relacionadas con el reconocimiento de técnicas ofensivas en artes marciales a lo largo de los años revelan un creciente interés en este tema en la comunidad de investigación. A partir del año 2006, se observa un punto de inflexión con la aparición de la primera aportación [21]. En los años siguientes y antes de 2013, no hubo aportaciones. Sin embargo, con solo dos registros [22-23] en 2013 y dos [24-25] en 2016, se empieza a evidenciar cierto interés en el reconocimiento de técnicas ofensivas en artes marciales durante este periodo.

En 2018, pese a tener una única contribución [26], se observa un aumento gradual en el número de aportaciones, con una mayor cantidad de registros en los años siguientes. El año 2019 marca un importante crecimiento, con tres aportaciones [27-29], y este interés continúa en aumento durante los años 2020 y 2021, con tres [30-32] y cuatro [33-36] aportaciones respectivamente.

El año 2022 mantuvo el crecimiento, con cuatro aportaciones registradas [5, 37-39], lo que refleja un creciente enfoque de investigación en el reconocimiento de técnicas ofensivas en el ámbito de las artes marciales.

## 2.2. PI2. Por continente, ¿cuál es la distribución de los sensores utilizados por las contribuciones para el reconocimiento de actividades marciales?

En la tabla 4 se contabiliza la distribución de sensores utilizados en cada continente. En dicha tabla logramos identificar 3 configuraciones de sensores en las contribuciones: aquellas que emplean sensores inerciales (acelerómetros, giroscopios y magnetómetros, entre otros [40]), las que emplean cámaras y las que utilizan ambos tipos de sensores para la obtención de datos. Para contabilizar y clasificar las aportaciones, se tomó en cuenta el

país de la universidad o institución al que pertenece el autor. En particular, para el caso de los autores pertenecientes a Rusia, se tomó en consideración la ciudad, siendo esta Moscú, la cual está ubicada en el lado europeo de Rusia.

Tabla 4. Distribución de clasificadores para actividades deportivas por continente

Sensor	África	América	Asia	Europa	Oceanía
Acelerómetro				6 [35]	
Acelerómetro y giroscopio		4 [34], [38]	9 [30, 39]	10 [33-34]	
Acelerómetro, giroscopio y magnetómetro			4 [5]	7 [21, 27, 29]	
Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro y cámara profunda			6 [37]	1 [37]	
Acelerómetro, giroscopio, pulsómetro y cámara profunda				2 [36]	
Cámara profunda	14 [31-32]		10 [24-25, 28]	10 [22-23, 26]	
Número de aportaciones	14	4	29	26	0

Fuente: elaboración propia.

Los datos revelan una distribución global de las contribuciones en el reconocimiento de técnicas de artes marciales, con la presencia de aportaciones en múltiples continentes. En Europa, se observa una diversidad de sensores empleados, desde el uso exclusivo tanto de cámaras profundas [22-23, 26] como de acelerómetros [35], pasando por la combinación de varios tipos de sensores inerciales como lo son los acelerómetros, giroscopios y magnetómetros [21, 27, 29, 33-34, 37], así como la combinación de sensores inerciales con sensores externos [36].

América también muestra su compromiso con la investigación en esta área, utilizando para cada una de sus aportaciones sensores inerciales [34, 38], lo cual muestra el estado de interés emergente en dicho continente. De igual forma, Asia aparece como otro punto clave de investigación, donde tanto acelerómetros y giroscopios [8, 30, 39] como cámaras profundas [24-25, 28] han sido empleados de forma independiente y en combinación [37], para el reconocimiento de actividades de artes marciales. África, por su parte, también ha participado en el estudio de reconocimiento de técnicas, con un enfoque particular en el uso de cámaras profundas [31-32]. Mientras que en Oceanía no se registró ninguna aportación.

En conjunto, esta distribución de aportaciones muestra un interés global en el desarrollo y aplicación de tecnologías avanzadas para el análisis de técnicas de artes marciales. Los diferentes continentes han abordado el tema desde perspectivas variadas, adoptando diferentes sensores y enfoques tecnológicos. Esta diversidad refleja un compromiso generalizado con el avance de las técnicas de reconocimiento de movimientos y su aplicación a las disciplinas marciales en todo el mundo.

### 2.3. PI3. ¿Cuál es la distribución de los tipos de actividades marciales reconocidas por los métodos de clasificación?

En la tabla 5 se contabiliza la distribución de clasificadores utilizados por cada tipo de actividad reconocida. Para la elaboración y clasificación de esta tabla se contabilizó cada clasificador por separado, por lo que el contador es superior al número de publicaciones revisadas.

Tabla 5. Distribución de clasificadores por tipos de actividades deportivas reconocidas

Conjunto de actividades reconocidas	Clasificadores	Número de apariciones
Ataques de kendo	Bosques aleatorios [30]	3
	K-vecino más cercano [30]	
	Máquina de soporte vectorial [30]	
Ataques y defensas de kendo	Modelo oculto de Márkov [25]	1
Golpes	Perceptrón multicapa [33]	2
	Red neuronal convolucional [33]	
Golpes y patadas	Árbol de decisión [38]	2
	Red neuronal convolucional [34]	
Golpes, patadas, defensas	<i>Gesture description language</i> (GDL) [22]	2
	Máquina de soporte vectorial [23]	
Golpes, patadas, defensas y posiciones de pies	Árbol de decisión [24]	7
	Bayesiano ingenuo [24]	
	<i>Dynamic time warping classifier</i> [21]	
	<i>Fast dynamic time warping</i> [31-32]	
	Perceptrón multicapa [24]	
	Red neuronal convolucional [37]	
Patadas	<i>Gesture description language</i> (GDL) [29]	7
	Modelo oculto de Márkov [27-29]	
	K-vecino más cercano [39]	
	Máquina de soporte vectorial [39]	
	Red neuronal convolucional [5]	
Total general		24

Fuente: elaboración propia.

El conjunto de actividades “Golpes, patadas, defensas y posiciones de pies” es el más destacado, con un total de 9 apariciones, lo que representa el 37,5 % [21, 24, 26, 36-37], seguido por 7 apariciones de la detección exclusiva de patadas, lo que se traduce en un 29,16 %, mostrando un contraste entre la caracterización de los diversos movimientos de artes marciales y la identificación específica de varias técnicas similares como lo son las patadas.

Por otro lado, los clasificadores más utilizados en general son “Red neuronal convolucional” (CNN) [5, 33-34, 37] y “Modelo oculto de Márkov” [25, 27-29] con 4 apariciones cada uno. Lo cual, si bien la tendencia actual es la de reemplazar los clasificadores tradicionales por el aprendizaje profundo, en el reconocimiento de técnicas de artes marciales, los clasificadores tradicionales se mantienen vigentes con un gran porcentaje de utilización, siendo del 75 % y únicamente un 25 % los clasificadores basados en redes neuronales.

La combinación de enfoques clásicos y modernos sugiere que se continúa con la incertidumbre de qué clasificador es el ideal para el reconocimiento de técnicas ofensivas en artes marciales. Así como la constante investigación comparativa entre los diversos clasificadores. En última instancia, esta divergencia de enfoques enriquece el campo y contribuye al desarrollo continuo de estrategias robustas para el reconocimiento de técnicas en artes marciales.

### 3. DISCUSIÓN

En este mapeo sistemático realizamos varios hallazgos interesantes. Mostrando cómo el interés en el reconocimiento de técnicas ofensivas en artes marciales ha ido en aumento progresivamente. Este crecimiento puede explicar una mayor comprensión de la importancia de estas técnicas en la práctica y enseñanza de las artes marciales. Así como el avance en las tecnologías de reconocimiento de movimientos, lo que motiva a la comunidad científica a realizar más aportaciones e investigaciones en esta área específica. En particular, para investigar la clasificación de las técnicas de artes marciales para apoyar la toma de decisiones de los jueces.

También se observó que en el ámbito del reconocimiento de golpes y patadas existen 3 combinaciones posibles de sensores a utilizar, los cuales son: múltiples sensores inerciales, cámaras profundas y la combinación de ambos tipos de sensores. De entre estas 3 opciones, no existe una clara tendencia por el uso de alguna de las opciones de sensores, ya sean inerciales o externos; no obstante, se empiezan a abordar investigaciones en las que se combinan ambos tipos de sensores, abriendo la línea de investigación enfocada a la comparación de qué distribución de sensores proveen mejor información para la detección de técnicas de artes marciales. Del mismo modo, sugiere la oportunidad de investigar estrategias de aprendizaje de múltiples vistas que aprovechen tales distribuciones de sensores.

Asimismo, se observó que, en las aportaciones, no hay una clara tendencia por la utilización de un clasificador en particular, y en su lugar se tiene una perspectiva interesante sobre la variedad de enfoques. Se observa un patrón dividido en el uso tanto de clasificadores clásicos como lo son el modelo oculto de Márkov, la Máquina

de soporte vectorial y K-Vecino más cercano, entre otros, y los clasificadores modernos basados en redes neuronales. Lo que demuestra un equilibrio entre la tradición y la innovación en este campo de estudio, lo cual sugiere que, hasta ahora, el costo computacional tanto en recursos como en tiempos de ejecución no son factores a considerar para la elección de los clasificadores a usar en el reconocimiento de técnicas en artes marciales. Lo anterior sugiere que hay un área de oportunidad de investigación para encontrar modelos de redes neuronales con menor costo computacional.

#### 4. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Este estudio se basó en un enfoque de mapeo sistemático [18]. Las limitaciones comunes en un estudio de mapeo son la posibilidad de errores en la recolección de datos (debido a una cobertura limitada), la elección de motores de búsqueda académicos y la influencia de los investigadores en los procesos de selección de artículos, recuperación de datos, análisis y síntesis.

Para solucionar estos problemas, se ha elegido la base de datos Scopus, que brinda una amplia gama de artículos revisados por expertos y una interfaz fácil de usar para búsquedas avanzadas.

Para mantener y facilitar la reproducción del estudio, la cadena de búsqueda, base de datos y criterios de inclusión y exclusión fueron reportados. No obstante, la cadena de búsqueda elaborada está orientada a artes marciales, en especial el Taekwondo y Karate, por lo que es posible que se hayan perdido documentos relevantes que pudieron aportar más información a este estudio.

Adicionalmente, se tuvo la limitante del idioma, ya que solo se consideraron trabajos primarios escritos en inglés y todos los artículos publicados en otros idiomas fueron excluidos. Sin embargo, las contribuciones identificadas permiten tener una primera toma de contacto con el estado actual del reconocimiento de técnicas en deportes de contacto.

#### 5. CONCLUSIONES

En el transcurso de este estudio hemos explorado el panorama general actual de las técnicas de aprendizaje automático empleadas en la clasificación de golpes y patadas. Es evidente que existe un interés en constante crecimiento en este campo de investigación, como se demuestra claramente por la constante afluencia de contribuciones a lo largo de los últimos años. La elección variada de clasificadores, tanto tradicionales como lo son el modelo oculto de Márkov, las máquinas de soporte vectorial y K-Vecino más cercano, entre otros, y los modelos basados en aprendizaje profundo como redes neuronales,

refleja la constante y extensa búsqueda por encontrar mejores resultados en la clasificación de actividades relacionadas a las artes marciales. Además, se observa interés en combinar la información proveniente de sensores inerciales y cámaras profundas.

Estos hallazgos abren la puerta a prometedoras líneas de investigación orientadas a la búsqueda de las mejores combinaciones de sensores (incluyendo las cámaras profundas) y las mejores estrategias de aprendizaje de múltiples vistas para reconocer movimientos de artes marciales. En el futuro, se espera que se realicen estudios más detallados que comparen y caractericen exhaustivamente los clasificadores y sensores utilizados en el reconocimiento de movimientos de artes marciales. Estos trabajos futuros ayudarán a identificar las fortalezas y limitaciones de cada enfoque, proporcionando información valiosa para la selección óptima de tecnologías en aplicaciones de reconocimiento de movimientos en artes marciales.

Lo anterior podrá derivar en la implementación de sistemas de inteligencia artificial en competencias oficiales de artes marciales. Esto podría tener un impacto considerable al reducir las controversias generadas por la subjetividad de los árbitros y garantizar una evaluación imparcial y precisa de las técnicas y movimientos ejecutados por los competidores. Esta perspectiva es particularmente emocionante y podría representar un cambio paradigmático en la forma en que se juzgan y evalúan las competencias de artes marciales en el futuro.

## REFERENCIAS

- [1] Madis E. The Evolution of Taekwondo from Japanese Karate. In: Green Th, Svinth J, editors, *Martial arts in the modern world*. Westport, Conn.: Praeger, 2003.
- [2] International Olympic Committee. Taekwondo [online]. <https://olympics.com/en/sports/taekwondo/>
- [3] World Taekwondo International Federation. *Competition Rules and Interpretation*, 2022.
- [4] Gang I, Gang H, Gang H. *The Complete Understanding of Taekwondo Poomsae*. Seoul: Taekwondo Box Media, 2021.
- [5] Jang W-J, Lee K-K, Lee W-J, Lim S-H. Development of an Inertial Sensor Module for Categorizing Anomalous Kicks in Taekwondo and Monitoring the Level of Impact. *Sensors*, 2022; 22 (7): 2591. <https://doi.org/10.3390/s22072591>
- [6] Channon A. ‘The man in the middle’: mixed martial arts referees and the production and management of socially desirable risk. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*, 2022 Jan; 14 (5): 744-758. <https://doi.org/10.1080/2159676X.2022.2027810>
- [7] TDKScore. Daedo [online]. <https://www.tkdscore.com/TrueScore-Generation2-Preorder>

- [8] Captain Sports. KPNP [online]. <https://captainsports.ca/collections/adidas-kp-p-pss-system>
- [9] Moenig U. Dominant features and negative trends in the current World Taekwondo Federation (WTF) competition system. *Ido Movement for Culture. Journal of Martial Arts Anthropology*, 2017 Jan; 17 (3): 56-67. <https://doi.org/10.14589/ido.17.3.7>
- [10] Alvarez AR. How Technology has Influenced in Taekwondo: Examination of how Electronic Protectors have Altered Taekwondos Technique [thesis]. Seoul: Seoul National University, 2019.
- [11] DN. Rio Olympic Media kit [online]. <http://d-n.kr/portfolio/rio-olympic-media-kit/>
- [12] Muhammad I, Yan Z. Supervised Machine Learning Approaches: A Survey. *ICTACT Journal on Soft Computing*, 2015 Apr; 5 (3): 946-952. <https://doi.org/10.21917/ijsc.2015.0133>
- [13] Rangasamy K, As'ari MA, Rahmad NA, Ghazali NF, Ismail S. Deep learning in sport video analysis: a review. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 2020; 18 (4): 1926-1933. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v18i4.14730>
- [14] Cust EE, Sweeting AJ, Ball K, Robertson S. Machine and deep learning for sport-specific movement recognition: A systematic review of model development and performance. *Journal of Sports Sciences*, 2019 Mar; 37 (5): 568-600. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1521769>
- [15] Blanco A, Isidro J, Szwedowicz DS, Martínez E, Cortés C, Azcaray HR, Gómez FA. Biomechanics of the Upper Limbs: A Review in the Sports Combat Ambit Highlighting Wearable Sensors. *Sensors*, 2022 June; 22 (13): 4905. <https://doi.org/10.3390/s22134905>
- [16] Lenetsky S, Uthoff A, Coyne J, Cronin J. A Review of Striking Force in Full-Contact Combat Sport Athletes: Methods of Assessment. *Strength and Conditioning Journal*, 2021 Apr; 44 (1): 71-83. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000643>
- [17] Worsey M, Espinosa H, Shepherd J, Thiel D. Inertial Sensors for Performance Analysis in Combat Sports: A Systematic Review. *Sports*, 2019 Jan; 7 (1): 28. <https://doi.org/10.3390/sports7010028>
- [18] Aguilera AA, Brena RF, Mayora O, Molino-Minero-Re E, Trejo LA. Multi-Sensor Fusion for Activity Recognition—A survey. *Sensors*, 2019 Sep; 19 (17): 3808. <https://doi.org/10.3390/s19173808>
- [19] Petersen K, Feldt R, Mujtaba S, Mattsson M. Systematic Mapping Studies in Software Engineering. In: *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE)*, June 2008.
- [20] Kulkarni AV, Aziz B, Shams I, Busse JW. Comparisons of Citations in Web of Science, Scopus, and Google Scholar for Articles Published in General Medical Journals. *Jama*, 2009 Sep; 302 (10): 1092-1096. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.1307>

- [21] Hachaj T, Piekarczyka M, Ogiela M. Human Actions Analysis: Templates Generation, Matching and Visualization Applied to Motion Capture of Highly-Skilled Karate Athletes. *Sensors*, 2017 Nov; 17 (11): 2590. <https://doi.org/10.3390/s17112590>
- [22] Hachaj T, Ogiela MR, Piekarczyk M. Dependence of Kinect sensors number and position on gestures recognition with Gesture Description Language semantic classifier. In: *Proceedings of the 2013 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, 2013: 571-575.
- [23] Bianco S, Tisato F. Karate moves recognition from skeletal motion. *Proc. SPIE 8650, Three-Dimensional Image Processing (3DIP) and Applications 2013, 86500K*, 2013 March 12: 154-163. <https://doi.org/10.1117/12.2006229>
- [24] Choi C-H, Joo H-J. Motion recognition technology based remote Taekwondo Poomsae evaluation system. *Multimedia. Tools and Applications*, 2016; 75: 13135-13148. <https://doi.org/10.1007/s11042-015-2901-1>
- [25] Tejero-de-Pablos A, Nakashima Y, Sato T, Yokoya N. Human action recognition-based video summarization for RGB-D personal sports video. In: *2016 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 2016 July 11-15. Seattle, WA: IEEE, 2016: 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICME.2016.7552938>
- [26] Tits M, Laraba S, Caulier E, Tilmanne J, Dutoit T. UMONS-TAICHI: A multimodal motion capture dataset of expertise in Taijiquan gestures. *Data in Brief*, 2018 Aug; 19: 1214-1221. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.05.088>
- [27] Hachaj T, Ogiela MR. Classification of Karate Kicks with Hidden Markov Models Classifier and Angle-Based Features. In: *11th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*, 2018 Oct 13-15. Beijing, China: IEEE, 2018: 1-5. <https://doi.org/10.1109/CISP-BMEI.2018.8633251>
- [28] Goma JC de, Bustos MS, Sebastian JA, Macrohon JJE. Detection of Taekwondo Kicks Using RGB-D Sensors. In: *ICSEB '19: Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Software and e-Business*, 2019 Dec: 129-133. <https://doi.org/10.1145/3374549.3374576>
- [29] Hachaj T, Ogiela MR. Computer System Prototype for Qualitative and Quantitative Evaluation of Selected Movement Activities. In: *ICSEB '19: Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Virtual and Augmented Reality Simulations*, 2019 Feb: 73-76. <https://doi.org/10.1145/3332305.3332309>
- [30] Torigoe Y, Nakamura Y, Fujimoto M, Arakawa Y, Yasumoto K. Strike activity detection and recognition using inertial measurement unit towards kendo skill improvement support system. *Sensors and Materials*, 2020 Feb; 32 (2): 651-673. <http://dx.doi.org/10.18494/SAM.2020.2615>
- [31] Emad B, Atef O, Shams Y, El-Kerdany A, Shorim N, Nabil A, Atia A. iKarate: Karate Kata Guidance System. *Procedia Computer Science*, 2020; 175: 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.07.024>

- [32] Emad B, Atef O, Shams Y, El-Kerdany A, Shorim N, Nabil A, Atia A. iKarate: Improving Karate Kata. *Procedia Computer Science*, 2020; 170: 466-473. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.090>
- [33] Labintsev A, Khasanshin I, Balashov D, Bocharov M, Bublikov K. Recognition Punches in Karate Using Acceleration Sensors and Convolution Neural Networks. *IEEE Access*, 2021 Oct; 9: 138106-138119. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3118038>
- [34] Amerineni R, Gupta L, Steadman N, Annauth K, Burr Ch, Wilson S, Barnaghi P, Vaidyanathan R. Fusion Models for Generalized Classification of Multi-Axial Human Movement: Validation in Sport Performance. *Sensors*, 2021 Dec; 21 (24): 8409. <https://doi.org/10.3390/s21248409>
- [35] Omcirk D, Vetrovsky T, Padecky J, Vanbelle S, Malecek J, Tufano JJ. Punch Trackers: Correct Recognition Depends on Punch Type and Training Experience. *Sensors*, 2021 Apr; 21 (9): 2968. <https://doi.org/10.3390/s21092968>
- [36] Echeverria J, Santos OC. KUMITRON: Artificial Intelligence System to Monitor Karate Fights that Synchronize Aerial Images with Physiological and Inertial Signals. In: *IUI '21 Companion: Companion Proceedings of the 26th International Conference on Intelligent User Interfaces*, 2021 Apr: 37-39. <https://doi.org/10.1145/3397482.3450730>
- [37] Yadav SK, Deshmukh A, Gonela RV, Kera SB, Tiwari K, Pandey HM, Akbar SA. MS-Kard: A Benchmark for Multimodal Karate Action Recognition. In: *2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2022 July 18-23: 1-8. <https://doi.org/10.1109/IJCNN55064.2022.9892646>
- [38] Qureshi F, Krishnan S. Design and Analysis of Electronic Head Protector for Taekwondo Sports. *Sensors*, 2022 Feb; 22 (4): 1415. <https://doi.org/10.3390/s22041415>
- [39] Jaya IGP, Dharmmesta RA, Rizal A, Istiqomah. Application Foot Kick Classification in Taekwondo with Inertia Sensor and Machine Learning. In: *2022 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob)*, 2022 Dec 9-10: 1-6. <https://doi.org/10.1109/APWiMob56856.2022.10014067>
- [40] Su X, Tong H, Ji P. Activity recognition with smartphone sensors. *Tsinghua Science and Technology*, 2014 Jun; 19 (3): 235-249. <https://doi.org/10.1109/TST.2014.6838194>