Artículo de investigación

ANÁLISIS SISTEMÁTICO DE DESGASTE FÍSICO EN FÚTBOL CON TECNOLOGÍA INERCIAL: REVISIÓN E INTEGRACIÓN PEDAGÓGICA, RESALTANDO VARIABLES CLAVE PARA PLANIFICACIÓN DEL ENTRENAMIENTO

Systematic analysis of physical wear in soccer using inertial technology: review and pedagogical integration, highlighting key variables for training planning

•••

Análise sistemática do desgaste físico no futebol com tecnologia inercial: revisão e integração pedagógica, destacando variáveis chave para o planejamento do treinamento

Por:

William David Gutiérrez-Parra[1]
Universidad del Valle, Cali, Colombia.
wdavidda@gmail.com
: 0009-0004-0397-3999

Francisco Antonio Amú-Ruiz[2]
Universidad del Valle, Cali, Colombia.
francisco.amu@correounivalle.edu.co
: 0000-0003-2892-1787

Recepción: 18/08/2023 • **Aprobación:** 05/12/2023

Resumen: El objetivo de la investigación fue analizar los sensores de desgaste físico en el fútbol y las tecnologías recientes para medir variables físicas en los últimos cinco años. Asimismo, se planteó evaluar la contribución de estas innovaciones a profesionales de la salud, actividad física y entrenamiento, y su relevancia en la planificación y pedagogía del entrenamiento.

Palabras clave: Fútbol; Sensores de desgaste físico; Entrenamiento físico; Pedagogía; Modelos de enseñanza; Monitoreo fisiológico; Educación física; Didáctica; Enseñanza.

Abstract: The aim was to analyze physical wear sensors in football and recent technologies to measure physical variables in the past five years. Likewise, the aim was to assess the contribution of these innovations to health, physical activity and training professionals, and their relevance in training planning and pedagogy.

Keywords: Soccer; Physical wear sensors; Physical training; Pedagogy; Teaching models; Physiological monitoring; Physical education; Didactics; Teaching.

Resumo: O objetivo da pesquisa foi analisar os sensores de desgaste físico no futebol e as tecnologias recentes para medir variáveis físicas nos últimos 5 anos. Além disso, propôs avaliar a contribuição dessas inovações aos profissionais de saúde, atividade física e treinamento, bem como sua relevância no planejamento e na pedagogia do treinamento.

Palavras-chave: Futebol; Sensores de desgaste físico; Treinamento físico; Pedagogia; Modelos de ensino; Monitoramento fisiológico; Educação física; Didática; Ensino.

Esta obra está bajo la licencia internacional Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

¿Cómo citar este artículo? / How to quote this article?
Gutiérrez-Parra, W. D. y Amú-Ruiz, F. A. (2023). Análisis sistemático de desgaste físico en fútbol con tecnología inercial: revisión e integración pedagógica, resaltando variables clave para planificación del entrenamiento. *Praxis, Educación y Pedagogía*, (12), e20113356. https://doi.org/10.25100/praxis_educacion.v0i12.13356

Contribución de los autores

William David Gutiérrez Parra estuvo encargado de la formulación del problema de investigación, el diseño e implementación de la metodología, la recolección de la información de las bases de datos científicas, el análisis de datos recolectados y redacción del artículo. Francisco Antonio Amú Ruiz participó en la construcción del protocolo de investigación, el análisis de datos conjuntamente con el primer autor, el reporte de resultados y revisión del manuscrito.

Introducción

La integración tecnológica en el fútbol (Zadeh *et al.*, 2021) ha generado innovaciones que ofrecen análisis más precisos (Praca et al., 2022), mejorando el rendimiento y la toma de decisiones (Zagatto *et al.*, 2009; McDevitt *et al.*, 2022; Chiang *et al.*, 2020). Sin embargo, aunque la tecnología es útil, el juego sigue siendo humano (Dobbin *et al.*, 2022). La falta de recursos tecnológicos limita la personalización de los entrenamientos (de Ruiter *et al.*, 2022; Grazioli *et al.*, 2023), impactando el rendimiento y aumentando el riesgo de lesiones (de-Oliveira *et al.*, 2022; Spineti *et al.*, 2019). Es por ello que invertir en tecnología es clave para optimizar el potencial de los jugadores (Marume *et al.*, 2023; Schelling y Robertson, 2020).

Materiales y métodos

Esta revisión se centró en estudios sobre futbolistas entre 16 y 44 años, empleando sensores tecnológicos como acelerómetros y GPS para medir el desgaste físico. Se evaluaron 490 artículos, de los cuales 26 pasaron por una revisión exhaustiva y finalmente 10 cumplieron con los criterios para ser incluidos en la revisión final. Cada estudio fue evaluado para identificar posibles sesgos y se aplicaron criterios específicos basados en el modelo PICO para garantizar la integridad y relevancia de la revisión (Tabla 1).

Tabla 1. Estrategia PICO

ESTRATEGIA PICO	
Population	Soccer players
Intervention	Physical wear sensors
Comparison	
Outcomes	Physical strain

Fuente: elaboración propia.

Es imperativo subrayar que el propósito central de la presente revisión no radica en la comparación de trabajos ni en la evaluación de estrategias divergentes. Más bien, el enfoque se centra en elucidar aquellos componentes contemporáneos que facilitan la consecución de los objetivos previos (Tabla 2).

Tabla 2. Palabras clave y sinónimos

No.	Palabras clave	Sinónimo
1	Soccer players	Footballers, Football players, Players of association football, Football athletes.
2	Physical wear sensors	Physical strain sensors, Fatigue sensors, Wearable sensors, Body sensors, Biomechanical sensors.
3	Physical **strain**	Physical stress, Physical exertion, Muscle fatigue, Physical tension, Physical exhaustion.

Fuente: elaboración propia.

Cadena de búsqueda

Para la ecuación de búsqueda se usaron palabras clave identificadas junto con operadores lógicos "AND" y "OR". Se incluyeron sinónimos de Thesaurus.com para mejorar la precisión. Aquí está el resultado de esa formulación (Tabla 3).

Tabla 3. Cadena de búsqueda

Cadena de búsqueda
(“Soccer players” OR “Footballers” OR “Football players” OR “Players of association football” OR “Football athletes” AND “Physical wear sensors” OR “Physical strain sensors” OR “Fatigue sensors” OR “Wearable sensors” OR “Body sensors” OR Biomechanical sensors” AND “Physical strain” OR “Physical stress” OR “Physical exertion” OR “Muscle fatigue” OR “Physical tension” OR “Physical exhaustion”)

Fuente: elaboración propia.

Lista de fuentes de búsqueda

Los criterios de selección de fuentes se basan en la relevancia y relación directa con el tema central, así como en su accesibilidad en plataformas en línea. Las bases de datos seleccionadas son:

• Web of Science (WOS).

• PubMed.

• Scopus.

• EBSCO.

La estrategia de búsqueda específica para cada base de datos se puede visualizar en la Tabla 4.

Tabla 4. Estrategia de búsqueda específica para cada base de datos

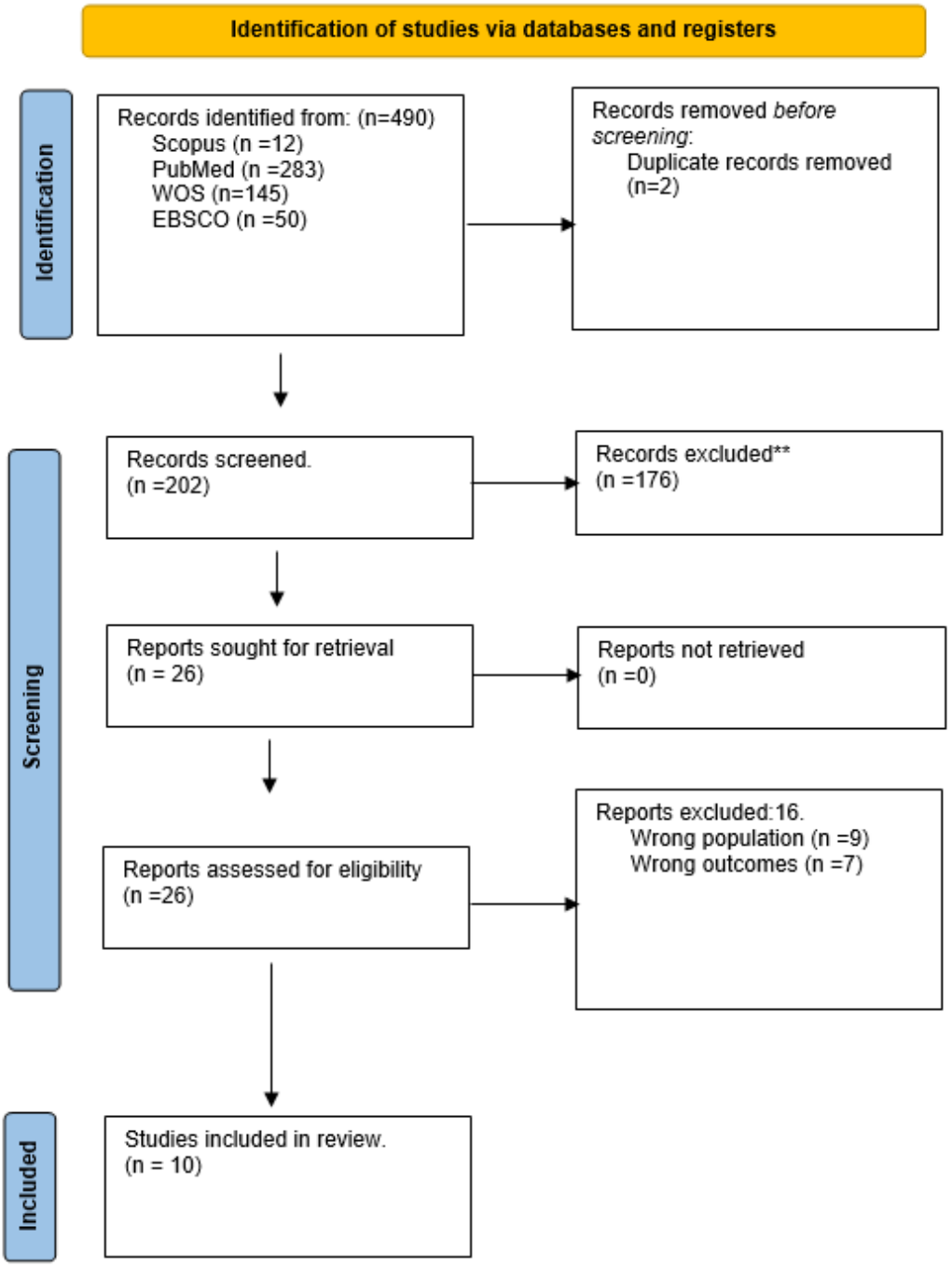
Base de datos	Ecuación de búsqueda
EBSCO	"Soccer players OR Footballers OR Football players OR Players of association football OR Football athletes AND Physical wear sensors OR Physical strain sensors OR Fatigue sensors OR Wearable sensors OR Body sensors OR Biomechanical sensors AND Physical stress OR Physical exertion OR Muscle fatigue OR physical tension OR physical exhaustion"
PUBMED	((((((((((((((Soccer players) OR (Footballers)) OR (Football players)) OR (Players of association football)) OR (Football athletes)) AND (Physical wear sensors)) OR (Physical strain sensors)) OR (Fatigue sensors)) OR (Wearable sensors)) OR (Body sensors)) OR (Biomechanical sensors)) AND (Physical strain)) OR (Physical stress)) OR (Physical exertion)) OR (Muscle fatigue)) OR (Physical tension)) OR (Physical exhaustion)
SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY (soccer AND players) OR TITLE-ABS-KEY (footballers) OR TITLE-ABS-KEY (football AND players) OR TITLE-ABS-KEY (players AND of AND association AND football) OR TITLE-ABS-KEY (football AND athletes) AND TITLE-ABS-KEY (physical AND wear AND sensors) OR TITLE-ABS-KEY (physical AND strain AND sensors) OR TITLE-ABS-KEY (fatigue AND sensors) OR TITLE-ABS-KEY (wearable AND sensors) OR TITLE-ABS-KEY (body AND sensors) OR TITLE-ABS-KEY (biomechanical AND sensors) AND TITLE-ABS-KEY (physical AND strain) OR TITLE-ABS-KEY (physical AND stress) OR TITLE-ABS-KEY (physical AND exertion) OR TITLE-ABS-KEY (muscle AND fatigue) OR TITLE-ABS-KEY (physical AND tension) OR TITLE-ABS-KEY (physical AND exhaustion))
WEB OF SCIENCE	((((((((((((((ALL=(Soccer players)) OR ALL=(Footballers)) OR ALL=(Football players)) OR ALL=(Players of association football)) OR ALL=(Football athletes)) AND ALL=(Physical wear sensors)) OR ALL=(Physical strain sensors)) OR ALL=(Fatigue sensors)) OR ALL=(Wearable sensors)) OR ALL=(Body sensors)) OR ALL=(Biomechanical sensors)) AND ALL=(Physical strain)) OR ALL=(Physical stress)) OR ALL=(Physical exertion)) OR ALL=(Muscle fatigue)) OR ALL=(Physical tension)) OR ALL=(Physical exhaustion)

Fuente: elaboración propia.

Lenguaje de estudio

Inicialmente se realizó la exploración en bases de datos en inglés para encontrar estudios primarios que respaldaran la revisión. Posteriormente, se tradujo el informe resultante al español. Se establecieron parámetros específicos durante el filtrado preliminar en estas plataformas (Figura 1).

Figura 1. Esquema de estudios incluidos en la revisión



Nota. Árbol de informe de revisión sistemática y meta-análisis PRISMA – Datos propios. Tras una búsqueda exhaustiva en las bases de datos mencionadas, se identificaron inicialmente 490 artículos distribuidos en Scopus (n=12), PubMed (n=283), EBSCO (n=50) y Web of Science (n=145). Se realizó un sondeo inicial para detectar registros duplicados, encontrando 2 duplicados que fueron sometidos a un análisis y resolución rigurosa.

Criterios de elegibilidad

Selección de estudios a incluir en la revisión

Después de buscar en los últimos cinco años (2019-2023), se hallaron 202 artículos relevantes. Tras revisar títulos, resúmenes, intervenciones y poblaciones, se seleccionaron 26 artículos y se excluyeron 176. Se obtuvieron todos los textos completos (100% de eficacia) y se evaluaron según criterios de inclusión y exclusión, incorporando 10 estudios y descartando 16 por discrepancias en demografía y resultados. Estos estudios se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Criterios de inclusión y exclusión en función de la estrategia PICO

PICOS	CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
1. Population	• Futbolistas que comprendan edades entre los 16 a 44 años. • Estudios publicados en los últimos cinco años a partir de la fecha de búsqueda de la literatura.	• Estudios que no incluyan datos sobre futbolistas o que se centren en otros deportes distintos al fútbol. • Estudios que no cumplan con los criterios de edad, es decir, que no incluyan futbolistas dentro del rango de 16 a 44 años.
2. Intervention	Estudios que utilicen sensores u otras tecnologías para recopilar datos sobre la carga física, como acelerómetros, GPS, monitores cardíacos, entre otros.	Estudios donde las mediciones y datos recopilados no aporten directamente al proceso del entrenamiento deportivo de fútbol
4. Outcome	Estudios que investiguen la medición de variables de desgaste físico en futbolistas.	Estudios que no estén relacionados con la medición del desgaste físico en futbolistas utilizando sensores.

Fuente: elaboración propia.

Riesgo de sesgo

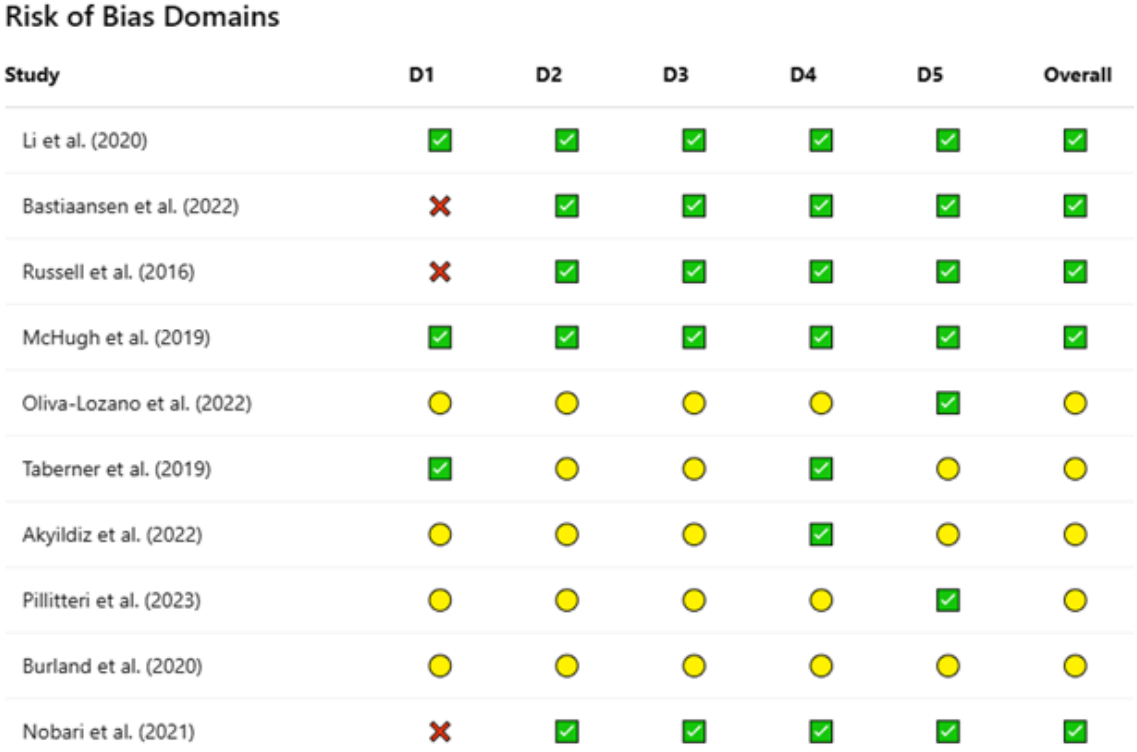
Calidad metodológica de los estudios incluidos

Se realizó una evaluación exhaustiva del riesgo de sesgo basada en los criterios del Manual Cochrane para revisiones sistemáticas de intervenciones (Higgins *et al.*, 2019). Se consideraron los siguientes dominios críticos en la revisión de los estudios seleccionados:

- Procedimiento de aleatorización. (D1)
- Desviaciones de las intervenciones propuestas. (D2)
- Omisión de datos resultantes. (D3)
- Cuantificación del desenlace. (D4)
- Elección del resultado divulgado. (D5)

Los dominios enunciados previamente son los pilares evaluativos para discernir el riesgo de sesgo en las investigaciones contempladas en el análisis sistemático (Figura 2).

Figura 2. Evaluación de sesgo por medio de manual Cochrane.



Fuente: Manual Cochrane – Datos propios.

A partir de los datos y referencias anteriores, se desplegó un análisis meticuloso basado en los hallazgos. Inicialmente, en relación con el criterio de proceso de aleatorización, se apreció una distribución equitativa: un tercio de los estudios demostró un bajo riesgo de sesgo (Li *et al.*, 2020; McHugh *et al.*, 2019; Taberner *et al.*, 2019). Un cuarto reflejó un riesgo moderado (Oliva-Lozano *et al.*, 2022; Akyildiz *et al.*, 2022; Pillitteri *et al.*, 2023; Burland *et al.*, 2020), y el tercio restante, un alto riesgo (Bastiaansen *et al.*, 2022; Russell *et al.*, 2016; Nobari *et al.*, 2021). Es imperativo destacar que la selección de estudios priorizó parámetros específicos en la población, factores que pueden influir en la aleatorización.

Respecto a las desviaciones en las intervenciones estipuladas, la mitad de los estudios exhibió un bajo riesgo de sesgo (Li *et al.*, 2020; Bastiaansen *et al.*, 2022; Russell *et al.*, 2016; McHugh *et al.*, 2019; Nobari *et al.*, 2021), y la otra mitad, un riesgo moderado (Oliva-Lozano *et al.*, 2022; Taberner *et al.*, 2019; Russell *et al.*, 2016; Pillitteri *et al.*, 2023; Burland *et al.*, 2020). Diversas adaptaciones metodológicas sustentan este patrón.

El criterio de datos de resultado ausentes requiere más detalles. En lo que concierne a la medición del resultado, el 70% de los estudios mostraron un bajo riesgo de sesgo (Li *et al.*, 2020; Bastiaansen *et al.*, 2022; Russell *et al.*, 2016; McHugh *et al.*, 2019; Nobari *et al.*, 2021; Taberner *et al.*, 2019; Akyildiz *et al.*, 2022), mientras que el 30% restante presentó un riesgo moderado (Oliva-Lozano *et al.*, 2022; Pillitteri *et al.*, 2023; Burland *et al.*, 2020), respaldado por la relevancia de las herramientas tecnológicas en la medición del desgaste físico en el fútbol.

Finalmente, en cuanto al criterio de selección del resultado divulgado, se identificó un patrón donde el 70% de los estudios presentó bajo riesgo de sesgo (Li *et al.*, 2020; Bastiaansen *et al.*, 2022; Russell *et al.*, 2016; McHugh *et al.*, 2019; Nobari *et al.*, 2021; Oliva-Lozano *et al.*, 2022; Pillitteri *et al.*, 2023) y el 30% restante un riesgo moderado (Taberner *et al.*, 2019; Akyildiz *et al.*, 2022; Burland *et al.*, 2020), evidenciando la primacía de la exactitud y confiabilidad en los dispositivos de medición.

Resultados

Elementos de la revisión sistemática

En la Tabla 6 y Tabla 7 se delinean las especificaciones establecidas para la ejecución de la revisión sistemática. Estos criterios fueron sometidos posteriormente a análisis comparativos en la sección de resultados para derivar las conclusiones pertinentes del estudio.

Tabla 6. Características de los sujetos de los estudios incluidos.

Autores y año	N	Sexo (M/F)	Edad	Diagnóstico	Diagnóstico instrumental
Li *et al.* (2020)	14	14/0	18,29 ± 0,32 años	Equipo de fútbol Sub-19 Superliga china	Desarrollo pruebas Laboratorio Biomecánico de Beijing Sport.
Bastiaansen *et al.* (2022)	16	16/0	22,4 ± 1,7 años	Jugadores amateurs	Pruebas de campo específicas para el fútbol.
Russell *et al.* (2016)	11	11/0	20 ± 1 años	Equipo de fútbol Sub-21 filial de club premier league	Partidos de competencia en condiciones normales
McHugh *et al.* (2019)	11	11/0	19±1 años	Selección sub-23 equipo segunda división de la liga inglesa	Pruebas en el periodo de recuperación posterior a periodo competitivo
Taberner *et al.* (2019)	29	29/0	23,1 ± 5,1 años	Jugadores equipo profesional y sub-23 club premier league	Recopilación de datos en partidos de temporada
Akyildiz *et al.* (2022)	9	9/0	23,18 ± 2,21	Jugadores amateurs	Recopilación de v ariables de carga de entrenamiento
Pillitteri *et al.* (2023)	13	13/0	18,5 ± 0,4	Jugadores profesionales campeonato italiano U19	Recopilación de variables de carga de entrenamiento
Burland *et al.* (2020)	10	6/4.	18 - 40 años	Jugadores amateurs	Recopilación de variables de carga de entrenamiento
Nobari *et al.* (2021)	21	21/0	28,3 ± 3,8 años	Jugadores equipo profesional liga iraní	Recopilación de variables de carga de entrenamiento

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Características de la intervención de los estudios incluidos

Características de los estudios					
Autores y año	**Sensor de desgaste físico**	**Intervención**	**Resultado**	**Conclusiones**	**Propuesta pedagógica**
Li *et al.* (2020)	Chaleco lastrado de tres kilogramos (YA LI-100, Xinyu, China) como resistencia portátil.	Medición de variables cinemáticas por medio de elementos de sobre carga y gestos específicos del deporte.	Diferencias significativas en los parámetros de rendimiento entre las dos condiciones (con y sin resistencia).	El uso de resistencia portátil afecta las respuestas cinemáticas y cinéticas durante los cambios de dirección en jugadores de fútbol masculino.	No se propuso una intervención pedagógica específica en este estudio.
Bastiaansen *et al.* (2022)	Sensor inercial para recopilar datos de carga de entrenamiento.	Medición y presentación de variables de aceleración como novedad en la cuantificación de la carga biomecánica de los futbolistas.	Las articulaciones y los segmentos se pueden usar como indicadores novedosos para cuantificar la carga biomecánica de las extremidades inferiores medida por una nueva configuración de sensor inercial.	Los sensores inerciales son útiles para cuantificar la carga biomecánica durante acciones específicas de fútbol.	No se propuso una intervención pedagógica específica en este estudio.
Russell *et al.* (2016)	Unidades GPS (Viper pod; STATSports, Belfast, Reino Unido).	Perfilación de marcadores de aceleración y desaceleración durante los momentos de juego.	Comparación del número de aceleraciones y desaceleraciones realizadas por partido o durante intervalos específicos de un partido.	Los criterios aplicados pueden influir en la detección y clasificación de las acciones de los jugadores de fútbol profesional.	No se propuso una intervención pedagógica específica en este estudio.
McHugh *et al.* (2019)	Sensor inercial para medir la aceleración y la velocidad de los jugadores durante los saltos y la recuperación.	Medición de variables enfocadas a la recuperación, específicamente en el gesto de salto y variables cinemáticas en el fútbol.	Los jugadores de fútbol profesional tienen una capacidad de recuperación más rápida que los jugadores de fútbol universitario y que la recuperación se ve afectada por la posición del cuerpo durante el salto.	El sensor inercial puede ser útil para evaluar la recuperación en el salto con contra movimiento en jugadores de fútbol.	No se propuso una intervención pedagógica específica en este estudio.

Olva-Lozano *et al.* (2022)	Sistemas de seguimiento WIMU Pro.	Descripción y comparación de variables de volumen e intensidad dentro de los ciclos de preparación bajo parámetros de carga de entrenamiento.	Instrumentos válidos y fiables para el análisis de la carga de trabajo parámetros en jugadores de fútbol.	La planificación adecuada de los entrenamientos y partidos puede optimizar la periodización de la carga de trabajo en jugadores de fútbol.	Se sugiere una propuesta pedagógica que involucre la optimización de la periodización de la carga de trabajo en jugadores de fútbol profesional.
Taberner *et al.* (2019)	Dispositivos GPS y TRACAB.	Intercambiabilidad de las métricas posicionales entre dos sistemas de seguimiento a jugadores, bajo parámetros de juego.	Los dispositivos miden variables asociadas a las distancias recorridas, velocidades máximas.	La elección de la tecnología de seguimiento óptico puede influir en la estimación de la demanda de carga en sprints en jugadores de fútbol.	No se propuso una intervención pedagógica específica en este estudio.
Akyildiz *et al.* (2022)	GPS Catapult S5 en condiciones de campo.	Validación y confiabilidad de los sensores GPS bajo el seguimiento de jugadores en diferentes posiciones.	Las unidades GPS son una herramienta útil para medir la posición de los jugadores en el campo de fútbol.	Las diferencias en la posición registrada por las unidades GPS deben considerarse al analizar los datos de posicionamiento en jugadores de fútbol.	No se propuso una intervención pedagógica específica en este estudio.
Pillitteri *et al.* (2023)	Sensor inercial portátil.	Establecer diferencias entre los indicadores de carga externa en jugadores de fútbol según posiciones de juego.	Los jugadores tuvieron una alta frecuencia cardíaca y un alto número de aceleraciones y desaceleraciones.	El sensor inercial es efectivo para evaluar la demanda de carga en jugadores jóvenes de fútbol.	Se sugiere una propuesta pedagógica para optimizar la carga de entrenamiento en jugadores jóvenes.
Burland *et al.* (2020)	Unidades de medición inercial.	Medir la carga de impacto, el recuento de pasos y el estímulo óseo acumulativo durante una serie de tareas relacionadas con el fútbol.	las IMUs son una herramienta confiable para capturar métricas de carga de impacto durante estas tareas.	Los sensores portátiles son fiables para evaluar las métricas de impacto durante tareas específicas del deporte.	Se sugiere una propuesta pedagógica para utilizar los sensores portátiles en la evaluación de las métricas de impacto durante las tareas específicas del deporte.

Nobari *et al.* (2021)	Dispositivos GPS.	Analizar dentro del grupo las tasas semanales agudas (wAW), crónicas (wCW) y la relación de carga de trabajo aguda: crónica (wACWR) durante los períodos previos, iniciales, intermedios y finales de la temporada.	Los dispositivos GPS logran aportar de manera correcta a las mediciones de los elementos asociados a las cargas de trabajo	La carga de trabajo externa puede variar entre jugadores titulares y no titulares durante una temporada de fútbol.	No se propuso una intervención pedagógica específica en este estudio.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados se basan en las características mencionadas en las Tablas 6 y 7, reflejando los enfoques específicos de esta revisión sistemática.

Variables medidas

El análisis de la revisión sistemática reveló variables clave de desgaste físico: carga externa, métricas de impacto y percepción del esfuerzo, medidas con tecnologías como GPS, sensores portátiles e IMUs, resaltando la importancia de la tecnología para mediciones precisas y una planificación deportiva efectiva.

Resultados principales

Se encontraron mejoras en mediciones y diferencias notables en variables, contextos y tareas específicas del fútbol. Los dispositivos de medición ofrecen herramientas esenciales para profesionales del entrenamiento, mejorando la planificación.

Conclusiones

Los estudios subrayaron la relevancia de los sensores de medición del desgaste físico y su efectividad para obtener resultados precisos mediante la intervención tecnológica.

Propuesta pedagógica

La revisión examinó propuestas pedagógicas, facilitando la interacción entre entrenadores y deportistas. Un tercio de los estudios (30%) incluyeron propuestas basadas en sus hallazgos (Oliva-Lozano *et al.*, 2022; Pillitteri *et al.*, 2023; Burland *et al.*, 2020), mientras que el 70% restante no proporcionó información relevante sobre los elementos requeridos (Li *et al.*, 2020; Bastiaansen *et al.*, 2022; Russell *et al.*, 2016; McHugh *et al.*, 2019; Nobari *et al.*, 2021; Taberner *et al.*, 2019; Akyildiz *et al.*, 2022).

Discusión

Dispositivos predominantes

La medición precisa del desgaste físico es crucial en la investigación. Este estudio revela una preferencia destacada por sensores inerciales, utilizados en la mitad de los estudios evaluados (50%) (Bastiaansen *et al.*, 2022; McHugh *et al.*, 2019; Oliva-Lozano *et al.*, 2022; Pillitteri *et al.*, 2023; Burland *et al.*, 2020). La preferencia por los sensores inerciales radica en su capacidad única de colocación directa en áreas específicas del deportista, ofreciendo mediciones precisas y no invasivas. Esto es crucial en estudios donde la ubicación exacta de la medición es fundamental para resultados representativos.

Aunque los GPS ocupan el segundo lugar en uso (40% de los estudios), su capacidad para monitorear movimientos en tiempo real y grandes espacios los hace valiosos en estudios con trayectorias extensas (Russell *et al.*, 2016; Nobari *et al.*, 2021; Akyildiz *et al.*, 2022; Taberner *et al.*, 2019). Los dispositivos ópticos y de resistencia portátiles, menos comunes, tienen aplicaciones especializadas que los hacen adecuados en contextos específicos (Li *et al.*, 2020).

La selección del dispositivo va más allá de su capacidad, considerando la facilidad de uso, invasividad, costo y aplicabilidad. A medida que la tecnología avanza, las preferencias pueden cambiar en la investigación del desgaste físico. Aunque los sensores inerciales son predominantes, es esencial que los investigadores evalúen todas las opciones disponibles. Combinar tecnologías como sensores inerciales y GPS ofrece una visión más completa. Esta integración mejora la precisión de las mediciones y es clave para comprender el desgaste físico y su impacto en el rendimiento. Recomendamos a los investigadores considerar la combinación de dispositivos para mejorar la exactitud y el alcance de sus estudios.

Propuestas pedagógicas

Del análisis sistemático, se observa que solo el 30% de los estudios elaboraron propuestas pedagógicas basadas en sus mediciones de desgaste físico (Oliva-Lozano *et al.*, 2022; Pillitteri *et al.*, 2023; Burland *et al.*, 2020), mientras que el 70% no ofrecieron estrategias educativas relacionadas (Li *et al.*, 2020; Bastiaansen *et al.*, 2022; Russell *et al.*, 2016; McHugh *et al.*, 2019; Nobari *et al.*, 2021; Taberner *et al.*, 2019; Akyildiz *et al.*, 2022). Esto subraya la oportunidad de integrar propuestas pedagógicas directamente derivadas de la investigación. No basta con recopilar y analizar datos; es crucial traducir estos hallazgos en acciones y estrategias educativas prácticas para mejorar el rendimiento y la práctica deportiva. Además, se identificaron aplicaciones prácticas específicas para el fútbol profesional, ofreciendo recomendaciones basadas en la investigación sobre la carga de trabajo, la recuperación y la planificación del entrenamiento (Oliva-Lozano *et al.*, 2022).

El segundo estudio destaca las diferencias de carga física entre posiciones en futbolistas jóvenes, proporcionando información valiosa para que los entrenadores adapten sus programas

de entrenamiento según las demandas del partido y la posición del jugador (Pillitteri *et al.*, 2023). El tercer estudio utiliza técnicas de aprendizaje automático para predecir el esfuerzo percibido en jugadores de fútbol australiano, proponiendo una nueva forma de monitorización y planificación del entrenamiento (Burland *et al.*, 2020). Estos estudios no solo revelan enfoques pedagógicos existentes, sino que también subrayan la importancia de desarrollar propuestas específicas que integren avances tecnológicos en el entrenamiento deportivo.

La elaboración de propuestas pedagógicas con elementos tecnológicos es crucial para mejorar el proceso deportivo. Al integrar tecnología y elementos humanos, estas propuestas se convierten en guías fundamentales para la planificación del entrenamiento, maximizando su potencial. Un enfoque pedagógico activo es esencial, destacando la importancia de involucrar a los atletas en su proceso de entrenamiento. Se propone una estructura paso a paso, basada en datos y personalizada, que aborda el entrenamiento y el rendimiento de manera efectiva, promoviendo la comunicación efectiva entre entrenadores y deportistas, enfatizando la individualización para maximizar el potencial de mejora. La colaboración entre entrenadores y deportistas, combinando tecnología y pedagogía, es clave para el éxito en el rendimiento y desarrollo deportivo.

Conclusiones

Se encontraron mejoras en mediciones y diferencias notables en variables, contextos y tareas específicas del fútbol. Los dispositivos de medición ofrecen herramientas esenciales para profesionales del entrenamiento, mejorando la planificación.

- La tecnología ha revolucionado la planificación deportiva, especialmente en el fútbol, ofreciendo herramientas innovadoras a atletas y entrenadores. Esta revisión destaca la importancia de los sensores de desgaste físico para mejorar los entrenamientos, priorizando el cuidado de los deportistas y su evolución en el fútbol.

- Los sensores inerciales y el GPS son preferidos para medir el desgaste físico. Su practicidad y facilidad de uso optimizan la planificación del entrenamiento en el fútbol.

- Los hallazgos de esta revisión son fundamentales para una propuesta pedagógica. Integrarán principios del entrenamiento con métricas de sensores de desgaste físico, mejorando la planificación y práctica del entrenamiento en el fútbol.

Referencias bibliográficas

Akyildiz, Z., Clemente, F. M., Şentürk, D., Gürol, B., Yildiz, M., Ocak, Y., y Günay, M. (2022). Investigation of the convergent validity and reliability of unit position differences of Catapult S5 GPS units in field conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*. https://doi.org/10.1177/17543371221100592

Bastiaansen, B. J. C., Vegter, R. J. K., Wilmes, E., de Ruiter, C. J., Lemmink, K. A. P. M., y Brink, Brink, M. S. (2022). Biomechanical load quantification using a lower extremity inertial sensor setup during football specific activities. *Sports Biomechanics*, 1–16. https://doi.org/10.1080/14763141.2022.2051596

Burland, J. P., Outerleys, J. B., Lattermann, C., y Davis, I. S. (2020). Reliability of wearable sensors to assess impact metrics during sport-specific tasks. *Journal of Sports Sciences, 39*(4), 406–411. https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1823131

Chiang, Y.-Y., Shih, W.-Y., Chen, W.-H., Huang, J.-L., y Shiang, T.-Y. (2020). A machine learning-based countermovement performance measurement method using a wearable IMU. *Proceedings of the 2020 International Conference on Pervasive Artificial Intelligence (ICPAI)*, 79–85. IEEE. https://doi.org/10.1109/ICPAI51961.2020.00022

de-Oliveira, L. A., Aragao-Santos, J. C., Heredia-Elvar, J. R., y Da Silva-Grigoletto, M. E. (2022). (2022). Movement velocity as an indicator of mechanical fatigue and resistance exercise intensity in cross modalities. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 94*(4), 1028–1034.https://doi.org/10.1080/02701367.2022.2101603

de Ruiter, C. J., Wilmes, E., Brouwers, S. A. J., Jagers, E. C., y van Dieen, J. H. (2022). Concurrent validity of an easy-to-use inertial measurement unit-system to evaluate sagittal plane segment kinematics during overground sprinting at different *speeds. Sports Biomechanics*, 1–14. https://doi.org/10.1080/14763141.2022.2056076

Dobbin, N., Thorpe, C., Highton, J., y Twist, C. (2022). Individual and situational factors affecting the movement characteristics and internal responses to Touch match-play during an international tournament. *Science and Medicine in Football, 7*(4), 347–357. https://doi.org/10.1080/24733938.2022.2107232

Grazioli, R., Loturco, I., Veeck, F., Setuain, I., Zandavalli, L. A., Inacio, M., Pinto, R. S., y Cadore, E. L. (2023). Speed-related abilities are similarly improved after sled training under different magnitudes of velocity loss in highly trained soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 18*(4), 420-427. https://doi.org/10.1123/ijspp.2022-0354

Higgins, J. P. T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., y Welch, V. A. (Eds.) (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions* (2a ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119536604

Li, X., Li, C., Cui, Y., y Wong, D. P. (2020). Acute kinematics and kinetics changes to wearable resistance during change of direction among soccer players. *Research in Sports Medicine, 29*(2), 155–169. https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1770761

Marume, K., Mugele, H., Ueno, R., Amin, S. B., Lesmana, H. S., Possnig, C., Hansen, A. B., Simpson, L. L., y Lawley, J. S. (2023). The impact of leg position on muscle blood flow and oxygenation during low-intensity rhythmic plantarflexion exercise. *European Journal of Applied Physiology, 123*, 1091–1099. https://doi.org/10.1007/s00421-022-05117-9

McDevitt, S., Hernandez, H., Hicks, J., Lowell, R., Bentahaikt, H., Burch, R., Ball, J., Chander, H., Freeman, C., Taylor, C., y Anderson, B. (2022). Wearables for biomechanical performance optimization and risk assessment in industrial and sports applications. *Bioengineering, 9*(1). https://doi.org/10.3390/bioengineering9010033

McHugh, M. P., Clifford, T., Abbott, W., Kwiecien, S. Y., Kremenic, I. J., DeVita, J. J., y Howatson, G. (2019). Countermovement jump recovery in professional soccer players using an inertial sensor. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 14*(1), 9–15. https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0131

Nobari, H., Silva, R., Clemente, F. M., Oliveira, R., Carlos-Vivas, J., y Pérez-Gómez, J. (2021). Variations of external workload across a soccer season for starters and non-starters. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology, 237*(3), 150-159. https://doi.org/10.1177/17543371211039297

Oliva-Lozano, J. M., Gómez-Carmona, C. D., Fortes, V., y Pino-Ortega, J. (2022). Effect of training day, match, and length of the microcycle on workload periodization in professional soccer players: A full-season study. *Biology of Sport, 39*(2), 397–406. https://doi.org/10.5114/biolsport.2022.106148

Pillitteri, G., Giustino, V., Petrucci, M., Rossi, A., Leale, I., Bellafiore, M., Thomas, E., Iovane, A., Palma, A., y Battaglia, G. (2023). Match load physical demands in U-19 professional soccer players assessed by a wearable inertial sensor. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 8*(1). https://doi.org/10.3390/jfmk8010022

Praca, G. M., Abreu, C. D., Rochael, M., y Moreira, P. D. (2022). How reliable are the tactical measures obtained in soccer small-sided games? A test-retest analysis of observational instruments and GPS-based variables. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*. https://doi.org/10.1177/17543371221113925

Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., Cook, C. J., Love, T. D., Bracken, R. M., y Kilduff, L. P. (2016). Changes in acceleration and deceleration capacity throughout professional soccer match-play. *Journal of Strength and Conditioning Research, 30*(10), 2839–2844. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000805

Schelling, X., y Robertson, S. (2020). A development framework for decision support systems in high-performance sport. *International Journal of Computer Science in Sport, 19*(1), 1–23. https://doi.org/10.2478/ijcss-2020-0001

Spineti, J., Figueiredo, T., Willardson, J., de Oliveira, V., Assis, M., de Oliveira, L., Miranda, H., de Ribeiro Reis, V. M., y Simão, R. (2019). Comparison between traditional strength training and complex contrast training on soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 59*(1), 42–49. https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.07934-3

Taberner, M., O'Keefe, J., Flower, D., Phillips, J., Close, G., Cohen, D. D., Richter, C., y Carling, C. (2019). Interchangeability of position tracking technologies: Can we merge the data? *Science and Medicine in Football, 4*(1), 76–81. https://doi.org/10.1080/24733938.2019.163

Zadeh, A., Taylor, D., Bertsos, M., Tillman, T., Nosoudi, N., y Bruce, S. (2021). Predicting sports injuries with wearable technology and data analysis. *Information Systems Frontiers, 23*(4), 1023–1037. https://doi.org/10.1007/s10796-020-10018-3

Zagatto, A. M., Beck, W. R., y Gobatto, C. A. (2009). Validity of the running anaerobic sprint test for assessing anaerobic power and predicting short-distance performances. *Journal of Strength and Conditioning Research, 23*(6), 1820–1827. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b3df32

Notas

[1] Estudiante de Maestría en Educación con énfasis en Pedagogía del entrenamiento deportivo, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Instructor de cultura física, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Cali, Colombia. Centro de electricidad y automatización industrial CEAI, regional Valle.

[2] Doctor en Ciencias de la Salud, línea en Biomecánica y Fisiología del Movimiento, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España. Docente de la Facultad de Educación y Pedagogía, Universidad del Valle, Cali, Colombia.