

Variables predictivas de lesiones a partir de uso de sistema GPS: una revisión sistemática

Predictive variables of injury from the use of GPS system: a systematic review

Santiago López Noe Valentín¹

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0077-2025>

Cervantes Hernández Natanael¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2652-2195>

Molina Jacquez Ricardo Gumaro¹

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1756-3415>

Flores Olivares Luis Alberto¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8177-8361>

Enríquez del Castillo Liliana Aracely¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6125-6526>

¹ Facultad de Ciencias de la Cultura Física, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

RESUMEN

Objetivo: Desarrollar una revisión sistemática de literatura e identificar las variables predictoras de lesión en provenientes de sistemas inerciales del sistema de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés), así como variables asociadas en futbolistas.

Metodología: Se realizó la búsqueda en las bases electrónicas PubMed, Science Direct Collection (Web of Science), Scopus y EBSCOhost (Academic Search Complete, SPORTDiscus) con fecha límite a diciembre del 2024. Tras aplicar los criterios de elegibilidad de un total de 937 únicamente se consideraron 12 para su análisis.

Resultados: Los doce artículos incluidos utilizaron tanto, variables cinemáticas como variables compuestas que pueden ayudar a predecir la aparición de lesiones en los futbolistas, entre ellas destacan la distancia

total, distancia recorrida a alta intensidad, aceleraciones y desaceleraciones, acumulación de carga aguda y crónica y la carga corporal nueva. Así mismo también se asocian variables como composición corporal, de hábitos, bioquímicas y de capacidades físicas, asociadas fuertemente con las lesiones. Y dentro de los modelos matemáticos utilizados estas correlaciones, análisis de varianza, modelos de regresión lineal, así como árboles de decisión.

Conclusión: El GPS es un método tecnológico que puede ayudar a identificar variables asociadas a lesiones y es necesario incluir en estos modelos variables fisiológicas, de constitución y rendimiento físico, de nutrición para generar modelos más completos.

Palabras clave: Futbolistas, GPS, lesiones, modelos estadísticos.



RPCAFD

REVISIÓN

Recibido: 01 de noviembre, 2025

Aceptado: 28 de enero, 2026

Correspondencia:

Natanael Cervantes Hernández

E-mail:

ncervantes@uach.mx



ABSTRACT

Objective: To develop a systematic literature review and identify predictive variables for injury in soccer players using inertial systems from the Global Positioning System (GPS), as well as associated variables.

Methodology: A search was conducted in the electronic databases PubMed, Science Direct Collection (Web of Science), Scopus, and EBSCOhost (Academic Search Complete, SPORTDiscus) with a deadline of December 2024. After applying the eligibility criteria, only 12 of the 937 results were considered for analysis.

Results: The twelve included articles used both kinematic and composite variables that can help predict the occurrence of injuries in soccer players. These included total distance, distance covered at high intensity, accelerations and decelerations, accumulation of acute and chronic load, and new body load. Variables such as body composition, habits, biochemical factors, and physical capabilities, which are strongly associated with injuries, were also identified. The mathematical models used included correlations, analysis of variance, linear regression models, and decision trees.

Conclusion: GPS is a technological method that can help identify variables associated with injuries. It is necessary to include physiological, constitution, physical performance, and nutritional variables in these models to generate more comprehensive models.

Keywords: Football players, GPS, injury, statistical models.

Introducción

El fútbol se ha descrito como un deporte acíclico, intermitente y estocástico con singularidad a través de su variabilidad e imprevisibilidad, ya que por su naturaleza da respuesta a componentes físicos, técnicos, tácticos y psicológicos¹. Desde la esfera física cerca del 70% corresponden a actividades de baja y moderada intensidad, mientras que el 30% restante, refiere a actividades de alta intensidad, tales como aceleraciones, desaceleraciones, frenados, cambios de dirección, saltos, impactos que se manifiestan en su mayoría en patrones de movimiento poco ortodoxos².

La demanda física durante la competición o entrenamiento de fútbol difiere significativamente dependiendo de la posición. Y actividades añadidas como los choques, impactos de alta intensidad, pases largos o a profundidad, driblar con el balón con oposición, confrontar duelos ofensivos o defensivos proporciona un estrés fisiológico adicional al jugador³.

De manera que, comprendiendo las demandas naturales del juego del fútbol actual, los esfuerzos de alta intensidad en cada posición del campo y añadiendo factores como; la estructura del sistema de competencia (dobles competiciones, horarios

congestionados, horario de partidos, entre otros), así como la interacción dosis-respuesta al sobreentrenamiento, fatiga (periodos de recuperación y descanso), desentrenamiento y condiciones del campo y equipamiento del jugador, serán factores importantes a tomar en cuenta en el planteamiento. Un desequilibrio en alguno de ellos, dará como resultados una alta incidencia lesional tanto en partidos como en entrenamientos^{4,5}.

Por consiguiente, en el deporte cuando pasa a hacer profesionalizado como en el caso del fútbol, convierte al que lo practica en un trabajador que queda sujeto de la institución, siendo casi mil veces más frecuente padecer una lesión en los jugadores de fútbol que trabajadores de la industria⁶.

Estas lesiones pueden ser intrínsecas por sobreentrenamiento o esfuerzo excesivos e influyen variables como la edad y extrínsecas por colisión o contacto^{7,8}. Otro factor causante de acrecimiento lesional va a hacer la cantidad de horas de exposición de entrenamiento y competición. Ya que, de acuerdo con Pfirmann et al.⁹, tras mil horas de exposición se produce un índice lesional de entre 8 a 10 lesiones, siendo mayor el índice durante fases de competición.

Una proporción considerable de las lesiones sufridas por los atletas de deportes de equipo sin contacto, en particular de los futbolistas, son problemas de los tejidos blandos que se producen como resultado de exigencias en acciones de juego que superen un umbral absoluto, así como de cargas de entrenamiento excesivas, recuperación inadecuada y sobre entrenamiento¹⁰.

Por esta razón, en los últimos años se ha creado un vínculo potencial entre las mediciones de la carga con el uso de sistemas EPTS (Electronic Performance Tracking System) y el riesgo de lesiones de fútbol¹¹. De los EPTS se derivan diferentes tipos, tales como el sistema inercial GPS (Global Position System), el cual ha sido validado por medio del programa de calidad por parte de la Federación Internacional de Fútbol Asociación (FIFA)¹² que otorga el sello International Match Estándar (IMS). Este ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años en cuanto a la cuantificación y control de la carga externa en entrenamientos y partidos de fútbol. Estos sistemas se han incorporado en el fútbol para el seguimiento, la monitorización, evaluación, predicción y prevención de lesiones, buscando informar al personal de salud cuándo es pertinente modificar o reducir el entrenamiento a los jugadores⁷.

En este contexto, las variables cinemáticas extraídas por los dispositivos inerciales, pueden generar una vertiente estructurada y sistematizada con la incorporación de ciencias de la información y computación para dar soporte a la toma de decisiones¹³. La predicción de lesiones sigue siendo un problema difícil de abordar debido a las diferencias biológicas individuales, la predisposición física o la condición psicofísica de cada jugador. Es posible que únicamente mediante la aplicación de técnicas de análisis robustas con apoyo de aprendizaje automático y algoritmos específicos se puedan identificar factores predictores de lesión objetivos, confiables y susceptibles a modificación¹⁴. Estas variables son tan variadas y arrojan mucha información la que se puede extraer de ellos, por lo que, parte de nuestras preguntas de investigación son ¿cuáles elementos son determinantes en el estado real de la salud de un jugador y, en consecuencia, en el riesgo de lesión?. Por lo tanto, el objetivo de la presente revisión sistemática de literatura es identificar las variables predictoras de lesión provenientes de sistemas inerciales GPS, así como variables asociadas en futbolistas.

Metodología

Para fomentar la transparencia y generar un planeamiento correcto de la revisión sistemática, el protocolo fue inscrito en International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO) con el número PROSPERO 2024 CRD 42024606808. Esta es una base de inscripción de protocolos de revisiones sistemáticas de literatura administrada por el Centre for Reviews and Dissemination de la Universidad de York, financiada por el National Institute for Health Research del Reino Unido.

Criterios de elegibilidad

Los estudios que serán revisados se seleccionarán siguiendo la guía PICOS, la cual analiza cinco aspectos: a) participantes, b) intervenciones, c) comparaciones, d) variable dependiente, y e) diseño del estudio y contexto:

- a) Participantes o sujetos: se analizarán hombres, futbolistas, sanos y de todas las edades
- b) Intervenciones: la intervención consiste en la participación de los jugadores en entrenamientos y juegos de fútbol de su club
- c) Comparaciones: No hay comparaciones, los estudios son de tipo epidemiológico en donde se registran las lesiones a lo largo de un torneo
- d) Variable dependiente: registro de lesiones.
- e) Diseño del estudio y el contexto: se incluirán estudios epidemiológicos

Fuentes de información

Se realizó la búsqueda en las bases electrónicas PubMed, Science Direct Collection (Web of Science), Scopus y EBSCOhost (Academic Search Complete, SPORTDiscus) en el periodo de agosto a diciembre del 2024. Adicionalmente, se realizó una búsqueda cruzada examinando las listas de referencias de los artículos de revisión anteriores o revisiones similares y de cada estudio incluido, con el fin de encontrar artículos potenciales que cumplieran con los criterios de inclusión.

Diagrama de flujo de la búsqueda

El proceso de búsqueda y selección se muestra en el diagrama de flujo propuesto (Figura 1) por las guías Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses” (PRISMA)¹⁵

Estrategia de búsqueda

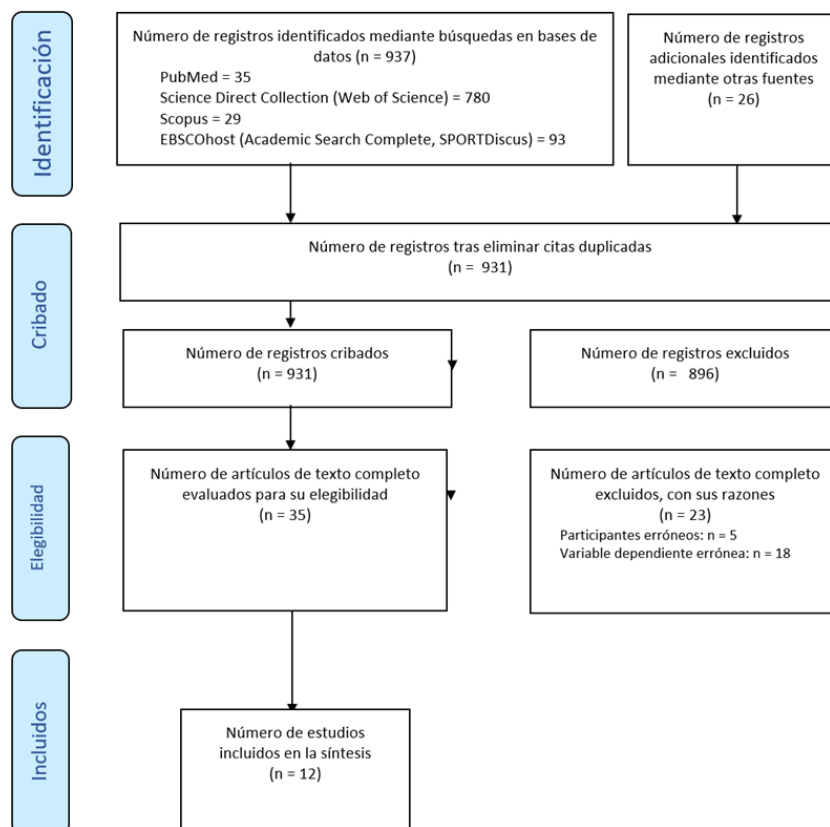
Las palabras claves para la búsqueda en inglés fueron: injury, lower limb, lower extremity, soccer, football, prediction, predictive, model, men, males, y en el idioma español fueron: lesión, extremidad inferior, extremidad inferior, fútbol, predicción, predictivo, modelo, hombres, varones. Se utilizarán los operadores booleanos AND, OR, NOT para concatenar las palabras.

Manejo de datos

Almacenamiento de datos y selección de los estudios potenciales. Una vez realizada la búsqueda en las bases de datos, todos los estudios fueron exportados y analizados con el programa EndNote 20 (Clarivate Analytics, 2024, 1500 Spring Garden Street, PA, USA). Con este análisis se eliminaron los estudios duplicados, los que sean en población incorrecta, los que no analicen lesiones y los demás criterios de inclusión mostrados en el diagrama de flujo.

Figura 1. Diagrama de flujo de la búsqueda

Figura 1. Diagrama de flujo de la búsqueda.



Variables del estudio

Las variables objetivo de este trabajo son aquellas arrojadas por el instrumento GPS y otras variables fisiológicas, de forma física o rendimiento que puedan predecir la aparición de la lesión además de los métodos estadísticos utilizados para generar un modelo de predicción.

Selección final de los estudios.

Una vez realizada la revisión, se compararon el resultado de ambos investigadores y se llegará a un consenso sobre cuáles estudios deben avanzar a la siguiente fase. Si existiera una diferencia de opinión sobre la inclusión o no de un estudio, se resolverá por medio de la opinión de una tercera

persona. Se seleccionaron inicialmente 937 registros, de los cuales únicamente se consideraron 12 para la síntesis cualitativa.

Análisis de los datos.

Se extrajo de cada uno de los artículos las variables que utilizaron para el riesgo de lesión, la tecnología usada para medir las variables, la técnica para el análisis de las variables, así como los principales hallazgos

Dentro de las características de los estudios seleccionados, once de ellos provienen del continente europeo y sólo uno es de Asia. Los

Resultados

estudios han utilizado futbolistas élite profesionales que compiten tanto en primera o segunda división en sus países o incluso futbolistas juveniles que

pertenece a una estructura de uno de estos equipos (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de los estudios incluidos en la revisión sistemática de literatura.

Estudio	Participantes (cantidad y tipo)	Variable principal
Bacon y Mauger ¹⁶	Futbolistas profesionales U-18 y U-21 Premier League (n = 41)	DT, HSR, auditoría de Lesiones durante 40 semanas de 2 temporadas competitivas: entrenamientos y partidos
Bowen et al. ¹⁷	33 futbolistas Premier League. (edad: 25.4±3.1)	Distancia total, distancia de baja intensidad (<14,8 km/h) Distancia de carrera a alta velocidad (19.8-25.2 km/h) Distancia de sprint (>25.2 km/h), Aceleraciones (0.5m/s ² durante 0.5 s) Desaceleraciones (-0.5m/s ² durante 0.5 s).
Ehrmann et al. ¹¹	19 jugadores profesionales (25.7 ± 5.1)	Distancia total Distancia de carrera de alta intensidad (14.3-19.7 km/h) Distancia de carrera de muy alta intensidad (arriba de 19.7 km/h) Carga corporal (body load) -m/min Lesiones de tejido blando (NO contacto)
Guitart et al. ¹⁸	71 jugadores fútbol élite (2 categorías): 30 profesionales (20.5 ± 5.45 años) 41 juveniles (22 de 16.01 ± 0.71 años y 19 de 17.02 ± 0.70 años)	Categoría, posición de juego, Día de partido (ej-3MD), Tiempo total, HMLD(m), HSR (m) Player load Distancia Total (TD) Relativas al tiempo:HMLD(m)/min; HSR (m)/min; Player load/min Distancia Total (TD)/min Tasa de lesiones (IR): #lesión/1000min según la métrica y según tiempo de exposición IR*Pérdida de tiempo

Haller et al. ¹⁹	Fútbol juvenil de élite (n=23). 16.6 ± 0.9 años	Sueño, la fatiga muscular y el nivel de energía fatiga percibida por entrenamiento/juego, estrés Satisfacción, fortaleza mental. Dist. recorrida FC, HMPD(m) TRIMP, # Total de sprints, aceleraciones, desaceleraciones, ACWR, valor medio de la fuerza máxima (Fmax) isquiotibiales c/pierna. Test CMJ, Pruebas sangre, ADN libre de células conteo sanguíneo hematológico
Kim et al. ²⁰	30 jugadores fútbol (25.97±4.39 años). Primera División	Duración en diferentes zonas de velocidad Distancia en diferentes zonas de velocidad Max velocidad Distancia y número sprint (>25.2 km/h * >0.6 s) Distancia y número de aceleraciones (<-3m/s ² a >3m/s ² * >0.5seg
Majumdar et al. ²¹	Jugadores de fútbol profesional (Premier League) 25.79±3.75 años n=35	106 variables de carga de entrenamiento: 40 datos GPS 6 información personal (Jugadores, historial de lesiones y exposición a partidos) 14 datos físicos ejemplo: (pliegues, %grasa) 4 datos psicológicos (ejemplo RPE) 14 datos de ACWR, 14 de MSWR 14 de EWMA Área de última lesión Día de última lesión
Nilsson et al. ²²	Jugadores juveniles fútbol élite (17-19 años) n=56	FC, Sesión-RPE, distancia total (TD: >0 km/hora), distancia de carrera de alta intensidad (HIRd: 15–19.79 km/h), HSRd: 19.8–24.79 km/hora distancia de sprint (Sd: 24.8–29.79 km/h), distancia de sprint máxima (Msd: >29.8 km/h); Acc: >0.50 m/s ² ; aceleraciones intensas (IA: >2.00 m/s ²); aceleraciones muy intensas (VIA: >3.00 m/s ²); Dec: <-0.50 m/s ²); deceleraciones intensas (ID: <-2.00 m/s ²); deceleraciones muy intensas (<-3.00 m/s ²).
Pilka et al. ²³	36 jugadores profesionales (24 ±5.26)	Posición del jugador, Tiempo total entreno, Distancia total (m) HSR (m), SPRINT (m), Player Load (ua), Momento microciclo o juego Acc (2-3m/s ²), Decc (2-3m/s ²)
Rossi et al. ²⁴	Jugadores profesionales de fútbol n=26 (26±4 años)	Cinemáticas: HSR-Carrera a alta velocidad (m), DT-Distancia Total (m) Metabólicas: Distancia Metabólica (dMET), Distancia de Carga Metabólica Alta (dHML) Distancia de Carga Metabólica Alta por minuto (dHML/m) Mecánicas: Distancia Explosiva (dEXP), #Acc (> a 2 m/s ²), #Acc (> a 3 m/s ²) #Dec (> a 2 m/s ²) #Dec (> a 3 m/s ²) Carga de Estrés Dinámico (DSL) Índice de Fatiga (FI) PI: # lesiones de jugadores antes de c/entrenamiento. ACWR (índice carga aguda/crónica), Distancia total, HSR

Rossi et al. ²⁵	Futbolistas de élite (Serie B) 24.7 (4.3) años	Hematocrito, hemoglobina, número de glóbulos rojos, ferritina, sideremia, distancia recorrida, distancia en alta intensidad metabólica (>20W/kg), distancia en alta intensidad de velocidad (>16km/h), Acc y dec (>2m/seg ²), ACWR
Vallance et al. ¹⁴	Futbolistas elite masculinos (French Ligue 2) n=40 29.4 (5.8) años	<i>Carga interna</i> : Calidad de sueño, Estado de fatiga, Estado buena forma Estado ánimo, Dolor percibido, RPE <i>Carga externa</i> : velocidad máxima, distancia total recorrida, número de acc y dec (>2m/s ²), distan*zonas veloc., Player load

Todos los estudios incluidos, contemplaron análisis a través de métodos robustos de machine learning, y cada uno arrojó diferentes modelos con diferentes precisiones como el uso e identificación de variables predictoras de lesión de miembro inferior (Tabla 2). Los doce artículos incluidos utilizaron tanto, variables cinemáticas (que describen el movimiento del jugador) como variables compuestas (consideradas “derivadas”) que pueden ayudar a predecir la aparición de lesiones en los futbolistas, entre ellas destacan:

1. Distancia total (DT): fue la variable más estudiada (once artículos la tomaron en cuenta) y presenta una relación directa con la incidencia de lesión por sobreuso en futbolistas.^{11,14,16-25}
2. Distancia recorrida a alta intensidad: Es mencionada por varios estudios y no todos coinciden con su relevancia en la carga^{14, 11, 22}. Sin embargo Guitart et al.,¹⁸ encontró que el HSR alto en el día -3D puede aumentar la incidencia, si no se tiene bien controlado.
3. Aceleraciones y desaceleraciones: Bowen et al.,¹⁷ menciona que cuando la carga aguda es muy alta, en comparación con la carga crónica, en estas variables la probabilidad de lesión es muy alta. Sobre todo, si se aumenta de forma brusca las desaceleraciones.
4. Acumulación de carga aguda y crónica: Es la relación entre las cargas agudas y crónicas (ACWR) que también es una variable comúnmente mencionada. Los investigadores sugieren que un aumento repentino de las cargas de entrenamiento

(respuesta aguda) en relación con la carga crónica aumenta el riesgo de lesiones. Si el valor de ACWR supera 2.0 hay un riesgo de lesiones significativamente mayor, incluso de 5 a 7 veces más alto¹⁷.

5. Carga corporal nueva: según los autores esta carga incorpora todas las fuerzas medidas por el acelerómetro triaxial (Erhmann) y cuando presenta valores más bajos durante las últimas sesiones en comparación con el promedio de la temporada, la incidencia de lesión aumenta. Se deben tener presente los momentos de recuperación de manera que no sean tan extensos y que el atleta pueda volver rápidamente a percibir esfuerzos de alta intensidad como las aceleraciones y desaceleraciones¹¹.

Dentro de estos estudios también se destacan algunas asociaciones con variables de composición corporal, de hábitos, bioquímicas y de capacidades físicas, asociadas fuertemente con las lesiones. Estas fueron el peso corporal, calidad del sueño, el estado de fatiga, el estado de buena forma, estado ánimo, dolor percibido, área de la última lesión, valores de hematocrito, de hemoglobina, número de glóbulos rojos, niveles de testosterona y ferritina, así como altura de salto CMJ (Tabla 2).^{14,21,19,25}

Además, para poder establecer forma de predecir la aparición de una lesión se utilizaron diferentes modelos matemáticos dentro de los que destacan correlaciones, análisis de varianza, modelos de regresión lineal, así como árboles de decisión dependiendo del tipo de variables utilizadas.^{16,11,19,21,24,14}

Tabla 2. Resumen de las tecnologías, forma de análisis y hallazgos de los artículos incluidos.

Estudio	Tecnología para medir variables	Técnica de análisis	Principal hallazgo
Bacon y Mauger ¹⁶	GPS (StatSports, Viper Pod, NI)	Correlación de Pearson: comparar dos temporadas ANOVAS (1 vía): posición de juego Regresión lineal: capacidad predictiva de las agrupaciones HSR y TD (baja, normal y alta) sobre las tasas de incidencia de lesiones	Predecir las lesiones por uso excesivo: La tasa de incidencia de lesión basadas en distancia total se reduce cuando la carga semanal, en entrenamientos y partidos es más alta, no así con el HSR. Carga acumulada en cada 3-4 semanas no afecta la incidencia de lesión (en DT, ni HSR)
Bowen et al. ¹⁷	GPS (Viper 2, StatSports, Irlanda) en entrenamiento y amistoso, sistema de cámaras semiautomatizado, en competencia TRACAB; Chyron-Hego, Nueva York, EE. UU.)	Puntuaciones Z para clasificar los rangos de carga. Número de lesiones/tiempo de exposición de cada zona de carga modelo de regresión logística binaria	Un ACWR muy alto combinado con categorías de carga crónica baja demostró el mayor riesgo de lesiones por NO contacto para la mayoría de las métricas (excepto para la distancia de alta velocidad y la distancia de sprint), siendo DEC la más fuertemente asociada con el RR (ACWR >2.3, RR=6.6). La lesión por contacto está más relacionada con la exposición en partidos que con la carga de trabajo prescrita
Ehrmann et al. ¹¹	GPS de 5 Hz (SPI-Pro GPSports, Canberra, Australia)	Se utilizaron promedios móviles: antes del bloque de lesión, en el bloque de lesión y promedio de toda la temporada ANOVA de medidas repetidas	Factores de riesgo de lesión: m/min: mayor en bloque de lesión. que en bloque del promedio de temporada. Bloque de 1 semana (9.6% aumento) y Bloque de 4 semanas (7.4%). Body load: menor en bloque de lesión que en promedio de temporada Bloque 1 semana (15.4% disminución) y bloque de 4 semanas (9.0% disminución)
Guitart et al. ¹⁸	WIMU PRO™ (RealtrackSystems S.L., Almería, España)	Cálculos de frecuencia absolutas (n) y relativas (%) para las variables categóricas, y las medidas de tendencia central y dispersión para las variables continuas.	Métricas absolutas: no se encontraron diferencias significativas en las métricas de carga GPS entre jugadores juveniles y profesionales, tampoco en la posición de juego. Varía según el día, mostrando mayor carga en MD y -3MD, siendo HSR(m) la de mayor diferencia. Relativas al tiempo: Similares entre categoría y posición. Todas las métricas varían en MD y -3MD. IR 2.57/1000 Valores más altos en el día de Partido: MD (4.55/1000) seguido. -3MD (4.07/1000) mediocampistas mostraron la tasa de incidencia más alta para todas las métricas estudiadas, seguidos de los delanteros, con una diferencia notable con los defensores centrales y laterales. Más alta en MD y le sigue -3MD Carga externa e incidencia de lesión son directamente proporcionales

Haller et al. ¹⁹	<p>Cuestionarios: día / noche</p> <p>Sistema de Posicionamiento Local (LPS) 100 Hz</p> <p>LPS (Kinexon) dispositivo Nordbord (Vald Performance, Albion, Australia)</p> <p>Forcedecks, VALD Performance, Albion, Australia</p> <p>analizador hematológico Mythic 22 (Orphée, Ginebra, Suiza)</p>	<p>Aprendizaje automático: Máquina de Soporte Vectorial Lineal (SVM)</p> <p>Conjunto de datos desequilibrado entre datos de entrenamiento con y sin lesión; igual que en los datos de prueba.</p> <p>Respuesta: hicieron sobre muestreo para no perder datos</p> <p>Kappa de Cohen (Cohen, 1960) para la comparación entre los resultados del modelo y los resultados aleatorios</p>	<p>Demostró un enfoque de monitoreo integral en el proceso de entrenamiento</p> <p>Ranking de variables más importantes para predicción de lesiones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. calidad del sueño 2. ACWR (índice agudo: crónico) en tiempo de Carrera mayor a >19km/h 3. Altura de Salto CMJ 4. Cambio de dirección (hacia derecha) 5. Promedio de máxima velocidad X8-X28 (entre los días 8vo del último entrenamiento de la lesión y el 28avo del último de la lesión)
Kim et al. ²⁰	<p>Tasa de Esfuerzo Percibido</p> <p>GPS OhCoach</p> <p>Cell B, Fitogther (10 Hz)</p>	<p>Redes neuronales multicapa (FatigueNet)</p> <p>Mapeo de activación de regresión por gradiente (RAM) para superar la falta de explicabilidad. y mejorar la interpretabilidad de predicciones.</p>	<p>Reportan un gran rendimiento del Fatigue Net como modelo predictivo de fatiga, ya que utiliza datos bidimensionales, predice con un pequeño número de características, puede tener un orden secuencial de los datos GPS en bruto y puede mantener el patrón detallado de la característica de bajo nivel.</p>
Majumdar et al. ²¹	<p>GPS</p> <p>Cuestionario demográfico</p> <p>Monitoreo de rendimiento</p> <p>Datos psicológicos</p>	<p>XGBoost</p> <p>Redes neuronales ANN</p> <p>Árboles de decisión</p> <p>Bosques aleatorios</p> <p>Máquinas de soporte vectorial</p> <p>Se utilizó un enfoque de Explicaciones Aditivas de Shapley (SHAP) para dar interpretación a la información</p>	<p>Dos algoritmos XGBoost y ANN proporcionaron los mejores rendimientos predictivos.</p> <p>XGBoost predijo correctamente 26 de 37 lesiones</p> <p>Red neuronal artificial (ANN) predijo 28 de las 37 lesiones ocurridas.</p> <p>Las características más importantes de este modelo fueron: “área de la última lesión” y “peso”.</p> <p>Uso de un conjunto de datos más amplio y representativo de múltiples temporadas puede mejorar la precisión de la predicción de lesiones en comparación con los enfoques que se basan en datos de una sola temporada.</p>
Nilsson et al. ²²	<p>Monitores de FC (Polar Team Pro)</p> <p>Escala RPE</p> <p>GPS (10Hz)</p>	<p>Cálculo de potencia estadística</p> <p>Estimaciones Bayesianas por la poca cantidad de datos y su mayor probabilidad de producir estimaciones confiables con muestras pequeñas</p>	<p>Un volumen promedio de carga de entrenamiento (TL), más bajo y/o en aumento durante 30 días podría aumentar el riesgo de lesión en jugadores juveniles de fútbol de élite masculino. Evitar caídas a largo plazo en TL y equilibrar los aumentos de TL podría ser beneficioso para reducir el riesgo de lesiones.</p>

Piłka et al. ²³	GPS: S7 CATA-PULT (10Hz)	algoritmo XGBoost	Características predictivas más importantes: Cantidad de tiempo que el atleta pasó entrenando en las dos semanas previas al microciclo analizado Número de desaceleraciones y aceleraciones HSR (19.8–25.2 km/h) durante el microciclo de entrenamiento actual.
Rossi et al. ²⁴	GPS (10Hz) STATSports Vipe	Árbol de decisión	El modelo de árbol de decisión (DT) puede detectar con éxito alrededor del 80% de las lesiones con aproximadamente un 50% de precisión. A lo largo de la temporada, las características seleccionadas para la predicción de lesiones cambian Después de 14 semanas, solo tres características PI(EWMA), dHSR (EWMA) y DT(MSWR)) contribuyen de manera consistente a la predicción de lesiones. EWMA: móvil exponencialmente ponderado
Rossi et al. ²⁵	contador de sangre Coulter kits de prueba comercial VIDAS testosterona y cortisol GPS (K-GPS 10 Hz, K-Sport International, Italia)	K-means Árbol de Decisión Clasificador de Aumento Gradiente (XGB)	Modelo (XGB) con una precisión del 63%. Tienen una mejora del 15% en la capacidad de predicción a los modelos que sólo consideran la carga externa. la influencia de las características predictivas cambió de acuerdo con el periodo de la temporada Las características más importantes para el modelo fueron: El hematocrito, la hemoglobina, número de glóbulos rojos, la testosterona y ferritina
Vallance et al. ¹⁴	Cuestionarios subjetivos de bienestar percibido GPS (10 Hz) Optimeye S5, Catalyst Innovations	Arboles de Decisión KNN Regresión logística LDA	Para la predicción de lesiones en 1 semana, los datos de características de carga interna fueron más precisos que los de carga externa, mientras que, para la predicción de lesiones en 1 mes, los mejores rendimientos de los clasificadores se alcanzaron al combinar características de carga interna y externa

La revisión busca identificar las principales variables de carga externa que han sido evaluadas por los diferentes estudios en futbolistas profesionales, y que han sido asociadas a lesiones de tejidos blandos de las articulaciones del miembro inferior. Los estudios seleccionados han aportado evidencias tomando

Discusión

en cuenta la participación de los atletas durante los entrenamientos y la competición donde las variables que se identificaron como predictores fueron la distancia total, la distancia recorrida a alta intensidad, las aceleraciones y desaceleraciones, la acumulación de carga aguda y crónica, así como la carga corporal nueva, estas determinadas por el GPS.

Estas variables son consideradas carga externa, trabajos como el de Mendoza et al.²⁶ ha señalado que los altos volúmenes de carga externa son un factor determinante de riesgo de lesiones, así mismo estos altos volúmenes de trabajo se asocian con la posición de juego²⁷.

Bacon y Mauger¹⁶ así como Guillart et al.,¹⁸ encontraron una relación significativa, entre el

aumento de la distancia total en la carga semanal (jóvenes futbolistas) con la aparición de lesiones. Bowen et al.¹⁷ también encuentra que si la carga crónica es menor a la aguda la posibilidad de lesión aumenta para esta variable. Por otra parte, Ehrmann et al.,¹¹ logró encontrar que la distancia recorrida relativa al tiempo (metros/minuto) tiene un efecto importante en la aparición de lesiones. Cuando aumenta en la primera o cuarta semana previa a la lesión con respecto a la media de la temporada, la probabilidad de lesión aumenta. Esto según los autores, puede deberse a un cambio en la metodología de entrenamiento. En México los estudios para la determinación de modelos de riesgo de lesiones usando esta herramienta son escasos y en la mayoría de ellos son datos no publicados, sin embargo, es una herramienta útil para el tema y la generación de publicaciones con esta temática resulta pertinente.

Dentro de las otras variables asociadas al riesgo de lesiones, en las relacionadas a la composición corporal, destaca únicamente el peso corporal¹⁹ pero estudios hechos por Espinoza y Valle²⁸ señalan a la masa muscular como un elemento que previene lesiones, mientras que Pérez et al.,²⁹ encontraron una asociación entre grasa corporal y mayor riesgo de lesiones. Por lo que, considerar únicamente el peso corporal como una variable predictora no precisa de manera completa que factor es el que está incidiendo sobre ese riesgo, y hace necesario considerar tanto el valor de la masa muscular como masa grasa para establecer la relación más puntual.

En cuanto al uso de otras variables consideras de carga interna, estas están relacionadas a la recuperación del deportista y se ha señalado que el aspecto psicológico pudiera dar una mejor idea sobre este aspecto que los indicadores fisiológicos³⁰. Y en los estudios revisados se realizaron asociaciones con valores de hematocrito, de hemoglobina, número de glóbulos rojos, niveles de testosterona y ferritina, estos están relacionados a complementar datos de la carga externa²⁵. Otros trabajos señalan a indicadores bioquímicos como la creatinquinasa, urea y lactato deshidrogenasa como indicadores más efectivos de lesiones deportivas^{31,32}.

En cuanto a lo referente a los modelos predictivos utilizados en los artículos revisados son variados y esto responde al tipo de variables utilizada, su operacionalización y el método de recolección de la misma. Por lo que, para generar modelos efectivos es necesario identificar claramente las variables que puedan ser los mejores predictores de lesión y probar diferentes algoritmos que permitan generar modelos acordes al contexto particular que se busca entender. Así mismo poder sumar variables de estilo de juego, posición, la constitución física, la nutrición y a variables fisiológicas buscando generar un modelo más integral³³. El uso del GPS para generar estos modelos, así como la utilización de otras tecnologías, es un área de oportunidad para generar mejores modelos que repercutan en una mejorar en el desempeño deportivo y salud de los jugadores³⁴

Limitaciones del estudio

Si bien es cierto, algunos estudios incluidos tomaron en cuenta la relación entre carga interna con carga externa, es importante destacar que los GPS tienen un margen de error de 5-8% y que no incorporan métricas fisiológicas o recuperación, que pueden mejorar la precisión de los modelos de predicción de lesiones

Por otra parte, dentro de las fortalezas de este trabajo destacamos el poder identificar cuáles fueron las variables que se han asociado más con la presencia de lesiones. Esto nos abre la puerta para quienes trabajamos dentro del área de la actividad física, en prestar particular interés a estas como una medida de control y de programación de cargas. También, desde la investigación, poder aplicar estos datos a nuestra población, generar y probar modelos matemáticos en los cuales se establecer el grado de relación e importancia de estas mismas variables con el riesgo de lesión de nuestros deportistas y poder contribuir con información al respecto en beneficio de los deportistas.

Las variables de distancia total, distancia recorrida a alta intensidad, aceleraciones y desaceleraciones, acumulación de carga aguda y crónica y la carga corporal nueva determinadas a partir del GPS han sido las variables que han sido incluidas en diferentes modelos como mejores predictores

Conclusión

de riesgo de las lesiones. En necesario incluir en estos modelos variables fisiológicas, de constitución y rendimiento físico, de nutrición para generar modelos más completos. Se considera muy importante la identificación y el control

de estas variables con el objetivo de orientar la programación del trabajo con los futbolistas y evitar poner en riesgo la salud de los mismos.

Referencias

1. Aragüez-Martín G, Latorre JM, Martín F, Montoro J, Montoro FA, Diéguez MJ y Mosquera, A. Evolución de la preparación física en el fútbol. *Rev.Ib.CC. Act. Fis. Dep.* 2013; 2 (3):10-21.
2. Abbott W, Brickley G, & Smeeton N. Physical demands of playing position within English Premier League academy soccer. *Journal of Human Sport and Exercise.* 2018; 13(2), 285-295. <https://doi.org/10.14198/jhse.2018.132.04>
3. Bloomfield J, Polman R, & O'Donoghue P. Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer. *Journal of Sports Science & Medicine.* 2007; 6 (1), 63-70.
4. Jiang Z, Hao Y, Jin N, & Li Y. A Systematic Review of the Relationship between Workload and Injury Risk of Professional Male Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2022; 19(20), 13237. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013237>
5. Herrero N. Influencia de la superficie de juego, botas y otras variables en la producción de lesiones por mecanismo indirecto de la extremidad inferior en el fútbol. 2014; [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad Católica San Antonio de Murcia]. <https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/638954226514871f78dd43da>
6. Vicente M, Ramírez M, Capdevila L, Torres I, & Torres A. Lesiones prevalentes en deporte profesional: Revisión bibliográfica. *Rev. Asoc. Esp. Espec. Med. Trab.* 2019; 28(1), 65-75.
7. Colby M, Dawson B, Heasman J, Rogalski B, & Gabbett T. Accelerometer and GPS-Derived Running Loads and Injury Risk in Elite Australian Footballers. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* (2014); 28(8), 2244-2252. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000362>
8. Mendoza K, López M, Mesa M, & Rodríguez A. Análisis de las lesiones más frecuentes en miembros inferiores en el fútbol. *Podium. Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física.* 2022; 17(3), 1269-1280.
9. Pfirmann D, Herbst M, Ingelfinger P, Simon P, & Tug S. Analysis of injury incidences in male professional adult and elite youth soccer players: a systematic review. *Journal of athletic training.* 2016; 51(5), 410-424. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.6.03>

10. Molina I, Gómez C, Bastida A, & Pino J. Validez del dispositivo inercial WIMU PRO para el registro de la frecuencia cardíaca en un test de campo. *Sport TK: revista euroamericana de ciencias del deporte*. 2018; 7(1), 81-86.
11. Ehrmann F, Duncan C, Sindhusake D, Franzsen W, & Greene D. GPS and Injury Prevention in Professional Soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2016; 30(2), 360-367. <https://doi.org/1519/JSC.0000000000001093>
12. Federación Internacional de Fútbol Asociación. Dispositivos de seguimiento electrónico del rendimiento. 2021; <https://inside.fifa.com/es/technical/football-technology/standards/epts/epts-1>
13. Stumpf M. *Modelos Predictivos para la Prevención de Lesiones en el Fútbol*. 2018. <http://crea.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/16526>
14. Vallance E, Sutton-Charani N, Imoussaten A, Montmain J, & Perrey S. Combining Internal- and External-Training-Loads to Predict Non-Contact Injuries in Soccer. *Applied Sciences*. 2020; 10 (15), 5261. <https://doi.org/10.3390/app10155261>
15. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman D, & The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement *PLoS Med*. 2009; 6(6), e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097
16. Bacon C, & Mauger A. Prediction of Overuse Injuries in Professional U18-U21 Footballers Using Metrics of Training Distance and Intensity. *J Strength Cond Res*, 2017; 31(11), 3067-3076. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001744>
17. Bowen L, Gross A, Gimpel M, Bruce-Low S, & Li F. Spikes in acute: chronic workload ratio (ACWR) associated with a 5-7 times greater injury rate in English Premier League football players: a comprehensive 3-year study. *Br J Sports Med*. 2020; 54(12), 731-738. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099422>
18. Guitart M, Casals M, Casamichana D, Cortés J, Valle F, McCall A, Cos F, & Rodas G. Use of GPS to measure external load and estimate the incidence of muscle injuries in men's football: A novel descriptive study. *PLoS ONE*. 2022; 17(2), e0263494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263494>
19. Haller N, Kranzinger S, Kranzinger C, Blumkaitis J, Strepp T, Simon P, Tomaskovic A, O'Brien J, Düring M, & Stöggl T. Predicting Injury and Illness with Machine Learning in Elite Youth Soccer: A Comprehensive Monitoring Approach over 3 Months. *J Sports Sci Med*. 2023, 22(3), 476-487. <https://doi.org/10.52082/jssm.2023.476>
20. Kim J, Kim H, Lee J, Lee J, Yoon J, & Ko S. A Deep Learning Approach for Fatigue Prediction in Sports Using GPS Data and Rate of Perceived Exertion. *IEEE Access*. 2022, 10, 103056-103064. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3205112>
21. Majumdar A, Bakirov R, Hodges D, McCullagh S, & Rees T. A multi-season machine learning approach to examine the training load and injury relationship in professional soccer. *Journal of Sports Analytics*. 2024; 10, 47-65. <https://doi.org/10.3233/JSA-240718>.
22. Nilsson T, Börjesson M, Lundblad M, Ivarsson A, & Fransson D. Injury incidence in male elite youth football players is associated with preceding levels and changes in training

- load. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2023; 9(4), e001638. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2023-001638>
23. Piłka T, Grzelak B, Sadurska A, Górecki T, & Dyczkowski K. Predicting Injuries in Football Based on Data Collected from GPS-Based Wearable Sensors. *Sensors*. 2023; 23(3), 1227. <https://doi.org/10.3390/s23031227>
 24. Rossi A, Pappalardo L, Cintia P, Iaia F, Fernández J, & Medina D. Effective injury forecasting in soccer with GPS training data and machine learning. *PLoS ONE*. 2018; 13(7), e0201264. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201264>
 25. Rossi A, Pappalardo L, Filetti C, & Cintia P. Blood sample profile helps to injury forecasting in elite soccer players. *Sport Sciences for Health*. 2023; 19(1), 285-296. <https://doi.org/10.1007/s11332-022-00932-1>
 26. Mendoza K, López M, Mesa M, & Rodríguez A. Análisis de las lesiones más frecuentes en miembros inferiores en el fútbol. *Podium. Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física*. 2022; 17(3), 1269-1280.
 27. Pérez-Contreras J, Inostroza-Ríos F, Martín-Bravo N, Herrera-Arcos S, Aedo-Muñoz E, Merino-Muñoz P, & Miranda-Lorca B. Comparación de la carga externa entre líneas de Juego y diferencias entre competición nacional e internacional en futbolistas profesionales femeninas. *Retos: Nuevas Perspectivas de Educación Física, Deporte y Recreación*. 2025; (66).
 28. Espinoza-Navarro O, & Valle S. Composición Corporal y el Efecto de un Programa de Fuerza Auxiliar para Prevenir Lesiones en Músculos Cuádriceps Femoral, Isquiotibiales y Bíceps Femoral en Jóvenes Universitarios Futbolistas. *International Journal of Morphology*. 2014; 32(3), 1095-1100. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000300056>
 29. Pérez R, Hernández A, Cereijo D, & Pupo R. Body composition and musculoskeletal injuries: correlation in footballers of the Granma Social Team. *Journal of Negative and No Positive Results*, 5(11), 1311-1322. Epub. 2020. <https://dx.doi.org/10.19230/jonnpr.3423>
 30. Meuseen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, & Urhausen A. *Prevention, Diagnosis, and Treatment of the overtraining syndrome: Joint Consensus Statement of the European college of Sports Science and the American College of Sports Medicine*. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2012
 31. Pineda F, González N, Suescún S, Cárdenas S, & Camargo C. Relación entre lesiones musculares con los valores de creatina quinasa y la salud oral en un equipo de fútbol de primera división en Colombia (Relationship between muscle injuries with creatine kinase values and oral health in first division soccer players in Colombia). *Retos*. 2024; 54, 499–505. <https://doi.org/10.47197/retos.v54.101008>
 32. Rivera-Cisneros A, Sánchez-González J, & Reinoso V. Niveles plasmáticos de creatinfosfoquinasa y deshidrogenasa láctica en jugadores profesionales de fútbol. *Rev Mex Patol Clin Med Lab*. 2021; 68 (1)4-10. doi:10.35366/101565.
 33. Hernández D, Casamichana D, & Sánchez J. La cuantificación de la carga de entrenamiento como estrategia básica de prevención de lesiones. *Revista de preparación física en fútbol*. 2017; 24(2), 33-39.

34. Pons E, García-Calvo T, Resta R, Blanco H, López R, Díaz J, & Pulido J. A comparison of a GPS device and a multi-camera video technology during official soccer matches: Agreement between systems. *PloS one*. 2019; 14(8), e0220729. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220729>

Conflicto de intereses: No hay

Financiamiento: No hubo.