UNIVERSIDAD INTEGRAL
DEL CARIBE Y AMÉRICA LATINA

LICENCIATURA EN EDUCACIÓN

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA EN EL DEPORTE PARALÍMPICO: HERRAMIENTAS PARA MEJORAR EL ENTRENAMIENTO Y LA PREVENCIÓN DE LESIONES EN EL ATLETISMO SUDAMERICANO

Investigación presentada como requisito para optar al grado de
Licenciado en Educación.

Autor: Fonseca Vega Joel Stalin
Tutora: Lic. Raquel Jael Arévalo Tulcán

Willemstad, Curaçao, septiembre de 2025

CARTA DE APROBACIÓN DEL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
POR PARTE DEL TUTOR

Quito, 2 de septiembre de 2025.

Ciudadano:
Director de Investigación y Posgrado
UNIVERSIDAD INTEGRAL DEL CARIBE Y AMÉRICA LATINA
Su Despacho.

Por medio de la presente me dirijo a usted con el fin de informarle que he leído el Trabajo de investigación titulado: "INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA EN EL DEPORTE PARALÍMPICO: HERRAMIENTAS PARA MEJORAR EL ENTRENAMIENTO Y LA PREVENCIÓN DE LESIONES EN EL ATLETISMO SUDAMERICANO", elaborado por el ciudadano Fonseca Vega Joel Stalin, titular del documento de identidad que consta en su expediente académico, para optar al título de Licenciado en Educación, y apruebo su presentación, exposición y evaluación correspondiente por parte del jurado asignado.

Atentamente,

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
RAQUEL JAEL AREVALO TULCAN

Lic. Raquel Jael Arévalo Tulcán

C.C. No. 1722570155

DEDICATORIA

A Dios:

A Ti, mi Creador y fuente inagotable de fortaleza. Gracias por ser mi guía en los momentos de oscuridad y mi refugio en los días difíciles. En cada paso de este proceso sentí Tu presencia, dándome serenidad cuando las fuerzas parecían agotarse y esperanza cuando los desafíos se volvían grandes. Tú me enseñaste que todo sucede en el momento perfecto y que, con fe, todo es posible. Gracias por fortalecer mi corazón, por iluminar mi mente y por recordarme que los sueños se alcanzan con perseverancia, humildad y confianza en Tu voluntad.

A mis padres:

A mis amados padres, quienes con su ejemplo, esfuerzo y dedicación sembraron en mí los valores que hoy me definen. Gracias por enseñarme la importancia de la honestidad, la responsabilidad y el trabajo constante. Por su apoyo incondicional, por los sacrificios que hicieron en silencio para brindarme oportunidades, por su confianza en mis capacidades y por ser siempre mi mayor fuente de motivación. Cada palabra de aliento, cada consejo y cada gesto de amor fueron el cimiento sobre el cual construí este sueño. Ustedes son los verdaderos artífices de cada uno de mis logros, y a ustedes les dedico con todo mi corazón este triunfo, fruto también de su entrega y amor infinito.

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a la universidad, por abrirme las puertas del conocimiento y brindarme la oportunidad de crecer tanto personal como profesionalmente. Gracias por ser el espacio donde este sueño comenzó a hacerse realidad.

A mis profesores, por su dedicación, paciencia y compromiso. Cada uno de ustedes dejó una huella importante en mi formación. Gracias por compartir su experiencia, por motivarnos a dar lo mejor de nosotros y por guiarnos con sabiduría durante este proceso de aprendizaje.

A mis compañeros de clase, gracias por cada momento compartido, por las risas, los trabajos en grupo, las conversaciones y el apoyo mutuo. De cada vivencia y experiencia contada aprendí algo nuevo, y juntos hicimos que este camino fuera más llevadero y significativo.

A todos, gracias por ser parte de esta etapa que hoy culmina con éxito y satisfacción.

ÍNDICE GENERAL

pp.

Carta de aprobación del tutor ii
Dedicatoria iii
Agradecimiento iv
Índice General v
Lista de Cuadros viii
Lista de Gráficos viii
Resumen x

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 4
EL PROBLEMA
Planteamiento del Problema 4
Justificación de la Investigación 7
Objetivos de la Investigación 9
Objetivo General 9
Objetivos Específicos 9
Alcance de la Investigación 10
Limitaciones de la Investigación 10
Factibilidad de la Investigación 11

CAPÍTULO II 12
MARCO TEÓRICO
Antecedentes de la Investigación 12
Bases Teóricas 14
Teoría de la Inteligencia Artificial y su Aplicación al Deporte 15
Modelos de Carga, Adaptación y Fatiga: la Teoría de la Carga Aguda-Crónica 16
Modelos Multifactoriales de Prevención de Lesiones 17
Enfoques Educativos y Teoría del Aprendizaje Tecnológico 18
Principios Éticos y Justicia Tecnológica en el Deporte Adaptado 19
Integración Conceptual y Modelo Propuesto 20
Variable 1: Inteligencia Artificial Aplicada al Entrenamiento y la Prevención de Lesiones en Atletas Paralímpicos 20
Variable 2: Prevención de Lesiones en el Atletismo Paralímpico Sudamericano 22
Sistema de Hipótesis 24
Sistema de Variables 24
Conceptualización de Variables 24
Operacionalización de Variables 25

CAPÍTULO III 27
MARCO METODOLÓGICO
Tipo de Investigación 27
Alcance 27
Componente documental 28
Componente de campo 29
Población y Muestra 29
Población documental 29
Población de campo 29
Muestra 29
Área de Investigación 30
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 30
Validación 31
Confiabilidad 31
Técnica de Análisis de Datos 31
Análisis de datos documentales 31
Análisis de datos de la encuesta 32
Fases de la Investigación 33
CAPÍTULO IV 34
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS
Análisis Detallado de los Resultados 34
Caracterización de la Muestra Encuestada 34
Evidencia Científica, Técnica y Normativa sobre IA en el Monitoreo y la Prevención de Lesiones 38
Barreras y Condiciones del Contexto Sudamericano 43
Modelo Educativo-Tecnológico Propuesto 48
Análisis General de los Resultados 58
Evidencia del Logro de los Objetivos 61
CAPÍTULO V 62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
Conclusiones 62
Recomendaciones 64

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67
ANEXOS 71
Anexo A. Matriz de coherencia de la investigación 72
Anexo B. Protocolo de gestión, codificación y resguardo de datos 73
Anexo C. Matriz de antecedentes incorporados en la revisión 74
Anexo D. Cuestionario estructurado para estudiantes de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte 75
Anexo E. Consentimiento informado para participantes en la encuesta 77
Anexo F. Matriz de análisis documental 78
Anexo G. Ficha de validación de contenido por juicio de expertos 79
Anexo H. Formato de autorreporte del atleta 80

Anexo I. Registro de seguimiento fisiológico básico 81
Anexo J. Ficha de observación técnica por video 82
Anexo K. Matriz de alertas y decisiones preventivas 83
Anexo L. Consentimiento informado del atleta adulto para el uso de sus datos 84
Anexo M. Consentimiento del representante y asentimiento del atleta menor de edad 85
Anexo N. Plan de capacitación del cuerpo técnico y de los atletas 86
Anexo O. Tablero de indicadores del modelo 87

LISTA DE CUADROS

Cuadro		pp.
1	Conceptualización de las Variables	25
2	Operacionalización de las Variables	25
3	Distribución de la Variable Género en la Muestra de Estudio	34
4	Distribución de los Estudiantes según el Semestre Académico	35
5	Formación de los Estudiantes en Deporte Adaptado o Paralímpico	36
6	Formación de los Estudiantes en Inteligencia Artificial Aplicada al Deporte	37
7	Síntesis de la Evidencia Documental sobre IA, Monitoreo y Prevención de Lesiones	39
8	Resultados de la Encuesta sobre los Componentes de la IA para la Prevención de Lesiones	42
9	Barreras para la Adopción de IA en el Atletismo Paralímpico Sudamericano	44
10	Resultados de la Encuesta sobre las Dimensiones Educativa, Ética y de Cultura Preventiva	48
11	Componente de Monitoreo Técnico Accesible dentro del Modelo Educativo-Tecnológico Propuesto	50
12	Componente de Seguimiento Fisiológico Básico dentro del Modelo Educativo-Tecnológico Propuesto	51
13	Componente de Autorreporte Sistemático del Atleta dentro del Modelo Educativo-Tecnológico Propuesto	52
14	Ejes Transversales del Modelo Educativo-Tecnológico para la Prevención Temprana de Lesiones en el Atletismo Paralímpico Sudamericano	54
15	Ruta de Implementación del Modelo Educativo-Tecnológico	55
16	Indicadores de Control y Evaluación del Modelo	56
17	Resultados de la Encuesta sobre la Prevención de Lesiones y la Aplicabilidad del Modelo	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico		pp.
1	Distribución por Género de los Estudiantes Encuestados	35
2	Distribución de los Estudiantes según el Semestre Académico	36
3	Formación en Deporte Adaptado o Paralímpico	37
4	Formación en Inteligencia Artificial Aplicada al Deporte	38

5 Modelo Educativo-Tecnológico para la Prevención Temprana de Lesiones 50

UNIVERSIDAD INTEGRAL DEL CARIBE Y AMÉRICA LATINA

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA EN EL DEPORTE PARALÍMPICO: HERRAMIENTAS PARA MEJORAR EL ENTRENAMIENTO Y LA PREVENCIÓN DE LESIONES EN EL ATLETISMO SUDAMERICANO

AUTOR: Fonseca Vega Joel Stalin
TUTORA: Lic. Raquel Jael Arevalo Tulcan
AÑO: 2026

RESUMEN

La presente investigación analiza el potencial de la inteligencia artificial (IA) como herramienta de apoyo en el monitoreo del entrenamiento y la prevención temprana de lesiones en el atletismo paralímpico sudamericano. El problema abordado se relaciona con la alta exposición a sobrecargas funcionales y lesiones por uso repetitivo en atletas paralímpicos, en un contexto marcado por limitaciones tecnológicas, formativas y de acceso a soporte médico especializado. El objetivo general fue proponer un modelo educativo-tecnológico accesible que integre tres componentes: (a) monitoreo técnico mediante análisis de video para la detección temprana de asimetrías y compensaciones, (b) seguimiento fisiológico básico de la carga interna y la fatiga, y (c) autorreporte sistemático del propio atleta sobre dolor, recuperación y molestias asociadas al uso de prótesis o silla deportiva. Metodológicamente, se desarrolló un estudio con enfoque mixto de predominio cualitativo, de diseño no experimental, transversal y de alcance descriptivo, analítico y propositivo: una revisión documental analítica, complementada con una encuesta descriptiva aplicada a 80 estudiantes de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte. Los resultados evidenciaron una aceptación amplia de la IA como herramienta preventiva, la valoración de la individualización de la carga en función de indicadores fisiológicos y la legitimación del autorreporte del deportista como insumo crítico de decisión. Asimismo, se identificó consenso ético en torno a que la IA debe utilizarse para proteger la continuidad deportiva del atleta paralímpico y no como un mecanismo de exclusión. Se concluye que es posible implementar, en contextos sudamericanos con recursos limitados, un modelo de prevención temprana de lesiones que combine tecnología accesible, interpretación pedagógica y resguardo ético de los datos del deportista; se recomienda pilotear el modelo con apoyo de profesionales de la salud, definir con cada programa la línea base y las metas de los indicadores, y reforzar la formación del cuerpo técnico en deporte adaptado y en IA aplicada.
Descriptores o Palabras Claves: Inteligencia artificial, prevención de lesiones, atletismo paralímpico, carga de entrenamiento, monitoreo deportivo.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el deporte paralímpico ha dejado de ser únicamente un espacio de superación personal para consolidarse como un campo de alto rendimiento, innovación tecnológica y desarrollo humano (Howe & Silva, 2017). Este crecimiento ha impulsado nuevas preguntas en torno a cómo la ciencia, la educación y la tecnología pueden contribuir a que los atletas con discapacidad optimicen su entrenamiento y reduzcan el riesgo de lesiones sin comprometer su autonomía ni su identidad deportiva (Asare, 2024). En ese contexto, la Inteligencia Artificial (IA) emerge como una herramienta disruptiva capaz de transformar la manera en que se analizan los datos de rendimiento, se personalizan las cargas de entrenamiento y se anticipan las lesiones (Galmarini & Lucius, 2020). Sin embargo, la aplicación de IA en el deporte paralímpico, especialmente en el atletismo sudamericano, continúa siendo incipiente y desigual, en gran medida por la falta de modelos accesibles, éticamente diseñados y pedagógicamente sostenibles (Asare, 2024).

La inteligencia artificial (IA) ha demostrado utilidad en el deporte convencional para estimar la carga de entrenamiento (Novatchkov & Baca, 2013), analizar patrones biomecánicos mediante visión por computador y predecir riesgo de lesión a partir de datos fisiológicos y mecánicos. Sin embargo, su transferencia al deporte paralímpico no es directa. Los atletas con amputaciones, alteraciones neuromotoras, usuarios de silla de ruedas o con discapacidad visual presentan demandas biomecánicas y fisiológicas heterogéneas (Fletcher et al., 2021). Estas diferencias requieren modelos predictivos y umbrales de riesgo personalizados por clase funcional y contexto operativo, lo que vuelve insuficiente la importación de soluciones diseñadas para deportistas convencionales.

En Sudamérica, las limitaciones estructurales agravan el problema. El acceso restringido a infraestructura biomecánica especializada, personal médico deportivo y tecnologías de monitoreo continuo aumenta la vulnerabilidad frente a lesiones por

sobreuso, asimetrías y mala periodización, y la literatura muestra que las tecnologías de monitoreo y las evaluaciones biomecánicas sirven para orientar las estrategias de prevención (Rebelo et al., 2023). Estas lesiones interrumpen el proceso de preparación e incluso forzan el abandono competitivo. Por tanto, el problema no es únicamente deportivo; es un asunto de salud pública deportiva y de equidad tecnológica.

Frente a este escenario, la presente investigación, de tipo documental y de campo, con enfoque mixto de predominio cualitativo y alcance descriptivo, analítico y propositivo, tiene dos propósitos principales. Primero, analizar críticamente la evidencia científica y técnica existente sobre el uso de inteligencia artificial en el monitoreo del entrenamiento y en la prevención de lesiones en el deporte de alto rendimiento, con énfasis en el deporte adaptado. Segundo, a partir de dicha evidencia, proponer un modelo conceptual educativo-tecnológico aplicable al atletismo paralímpico sudamericano. De manera complementaria, se aplicó una encuesta a 80 estudiantes de la carrera de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte, con el fin de conocer su percepción y su disposición frente a las herramientas de inteligencia artificial para la prevención de lesiones en el deporte paralímpico.

Este modelo se concibe como una estructura teórica que articula tres dimensiones complementarias: (a) análisis biomecánico mediante registro en video y extracción de variables técnicas relevantes (por ejemplo, cadencia, longitud de zancada, ángulos articulares o patrones de asimetría en el apoyo o empuje); (b) seguimiento fisiológico básico mediante sensores accesibles y de bajo costo, tales como monitores de frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca y acelerometría; y (c) autorreportes sistemáticos del propio atleta en relación con dolor localizado, percepción subjetiva del esfuerzo, fatiga acumulada y calidad del sueño.

La literatura revisada sugiere que la combinación estructurada de estas tres fuentes de información puede alimentar modelos de aprendizaje automático capaces de estimar carga aguda y crónica, caracterizar trayectorias funcionales y generar alertas tempranas de riesgo de lesión en las ventanas de carga aguda (7 días) y crónica (28 días) que emplea el modelo de carga aguda-crónica. En términos prácticos, ello

significaría dotar a los cuerpos técnicos de información anticipatoria para tomar decisiones preventivas sobre dosificación de carga, ajuste de técnica y manejo de la recuperación.

El trabajo se organiza en cinco capítulos. El Capítulo I presenta el problema, los objetivos, la justificación, el alcance, las limitaciones y la factibilidad. El Capítulo II desarrolla los antecedentes, las bases teóricas y el sistema de variables. El Capítulo III describe el marco metodológico, con sus componentes documental y de campo. El Capítulo IV expone y analiza los resultados siguiendo el orden de los objetivos específicos, e incluye el modelo educativo-tecnológico propuesto como respuesta al tercer objetivo. El Capítulo V recoge las conclusiones y las recomendaciones. Finalmente, se presentan las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

El atletismo paralímpico sudamericano se desenvuelve en una tensión estructural: por un lado, exige estándares competitivos cada vez más altos en términos de rendimiento, consistencia técnica y disponibilidad física sostenida; por otro lado, opera en contextos donde el acceso a soporte científico, médico y tecnológico es limitado, fragmentado o inexistente. Esta asimetría entre exigencia y soporte genera un escenario de riesgo constante para el atleta con discapacidad, particularmente en lo que respecta a la sobrecarga mecánica acumulada, las lesiones por uso repetitivo y las interrupciones prolongadas del proceso de entrenamiento. En la práctica, cada lesión no es únicamente un evento físico, sino una ruptura del ciclo de preparación, una amenaza directa a la continuidad deportiva y, en muchos casos, un factor de exclusión competitiva.

En condiciones ideales, el riesgo de lesión debería gestionarse mediante monitoreo continuo de la carga interna (respuesta fisiológica del atleta), de la carga externa (magnitud mecánica del esfuerzo realizado), de la técnica deportiva (patrones de movimiento, asimetrías y compensaciones) y del estado percibido por el propio deportista (dolor, fatiga, recuperación subjetiva). En el deporte convencional de alto rendimiento, la inteligencia artificial (IA) ha comenzado a integrarse justamente en estas cuatro dimensiones: analiza video para estimar variables biomecánicas, procesa datos fisiológicos en tiempo casi real, detecta patrones de fatiga y genera alertas tempranas de riesgo de lesión. Sin embargo, en el ámbito paralímpico sudamericano este tipo de integración tecnológica es excepcional, no sistemática y, en la mayoría de los casos, inaccesible.

El primer problema identificable es técnico y metodológico. La mayoría de los sistemas de IA desarrollados para el deporte convencional asumen parámetros

biomecánicos y fisiológicos relativamente homogéneos. Estos supuestos dejan de ser válidos en el deporte paralímpico. Atletas con amputaciones unilaterales o bilaterales, con espasticidad o ataxia, con debilidad motora selectiva o usuarios de silla de ruedas presentan patrones de movimiento que no responden a la simetría ni a la cinemática "normativa" utilizada para construir muchos modelos predictivos. Tratar estas diferencias como "ruido" en lugar de como información estructural conduce a modelos que subestiman o malinterpretan el riesgo real. En consecuencia, las herramientas disponibles hoy no son directamente transferibles sin un proceso deliberado de adaptación conceptual, técnica y ética.

El segundo problema es estructural y regional. En Sudamérica, gran parte del entrenamiento paralímpico se realiza fuera de centros biomédicos especializados, con recursos materiales limitados, bajo la supervisión de cuerpos técnicos que, aunque altamente comprometidos, no siempre cuentan con equipos multidisciplinarios estables (médico deportivo, fisioterapeuta, analista biomecánico, preparador físico especializado en discapacidad). Esta realidad dificulta el seguimiento longitudinal y objetivo de la carga de trabajo y de la respuesta del cuerpo del atleta. Sin acceso a sistemas de medición accesibles ni a análisis interpretables, la prevención de lesiones depende en exceso de la percepción subjetiva del entrenador o del umbral de tolerancia al dolor del atleta. Eso perpetúa un enfoque reactivo: se interviene cuando el daño ya ocurrió.

El tercer problema es formativo. Incluso cuando existen herramientas tecnológicas, su adopción no está garantizada. Para que la inteligencia artificial genere impacto en contextos deportivos, los actores que la utilizan deben comprender qué mide, cómo se interpreta y qué decisiones permite tomar. En el caso del atletismo paralímpico sudamericano, no hay una cultura instalada de lectura sistemática de indicadores de carga ni de comunicación temprana de fatiga o dolor. Persiste, además, una presión competitiva que, en muchos casos, incentiva el silenciamiento del dolor para "no perder la oportunidad de competir". Sin un marco educativo que legitime el autocuidado como parte del rendimiento, la IA corre el riesgo de convertirse en un

dispositivo más de control externo, percibido como amenaza y no como sostén de la carrera deportiva.

El cuarto problema es ético. El uso de datos biomecánicos, fisiológicos y autorreportados por atletas con discapacidad plantea obligaciones particulares: consentimiento informado claro, anonimización estricta, ausencia de uso punitivo (por ejemplo, exclusión de competencia por “alto riesgo”), y auditoría de sesgos algorítmicos. En un contexto desigual como el sudamericano, donde los mecanismos formales de resguardo y gobernanza de datos son inconsistentes entre países e instituciones, no existe una garantía uniforme de protección de la información personal y corporal del atleta paralímpico. Esto introduce desconfianza legítima y dificulta la aceptación de tecnologías basadas en IA.

En síntesis, el problema central que aborda esta investigación puede formularse así: el atletismo paralímpico sudamericano enfrenta una alta exposición a lesiones asociadas a sobrecarga y desbalance funcional, en un entorno donde no existe un sistema accesible, éticamente estructurado y pedagógicamente transferible que permita anticipar dicho riesgo y apoyar la toma de decisiones en el entrenamiento. Aunque existen desarrollos internacionales basados en inteligencia artificial capaces de estimar carga y predecir riesgo de lesión, estos no han sido adaptados de manera explícita a la realidad biomecánica, económica, educativa y ética de los atletas paralímpicos sudamericanos. Ante ello, resulta necesario analizar críticamente la evidencia disponible y proponer un modelo conceptual de sistema educativo-tecnológico que sea viable en estas condiciones y que integre monitoreo técnico, interpretación humanamente significativa y protección de la integridad deportiva del atleta.

A partir de este planteamiento se formula la siguiente interrogante general:

¿Cómo puede estructurarse, desde la evidencia documental disponible, un modelo educativo y tecnológico basado en inteligencia artificial que sea ética y técnicamente viable para apoyar el entrenamiento y la prevención temprana de lesiones en atletas paralímpicos de atletismo en Sudamérica, considerando la heterogeneidad funcional del atleta y las limitaciones de recursos de la región?

De ella se derivan cinco preguntas específicas, que orientan los objetivos específicos del estudio:

1. ¿Qué avances documentados existen en la aplicación de la inteligencia artificial al análisis del rendimiento y la prevención de lesiones en el deporte de alto rendimiento?
2. ¿Cómo se han adaptado, a nivel internacional, las herramientas basadas en inteligencia artificial a las necesidades específicas del deporte paralímpico y, en particular, del atletismo adaptado?
3. ¿Qué limitaciones tecnológicas, estructurales y formativas enfrentan los atletas y entrenadores del atletismo paralímpico sudamericano para implementar sistemas de inteligencia artificial en el entrenamiento y la prevención de lesiones?
4. ¿Qué consideraciones éticas deben incorporarse en el uso de datos biomecánicos, fisiológicos y autorreportados de atletas paralímpicos para garantizar equidad, privacidad y consentimiento informado?
5. ¿Cómo puede diseñarse, con base en la revisión documental, un modelo educativo-tecnológico accesible que integre componentes de monitoreo técnico, interpretación pedagógica y prevención temprana de lesiones, adaptado al contexto del atletismo paralímpico sudamericano?

Las preguntas 1 y 2 se responden mediante el primer objetivo específico; las preguntas 3 y 4, mediante el segundo; y la pregunta 5, mediante el tercero (ver Anexo A).

Justificación de la Investigación

El atletismo paralímpico sudamericano enfrenta una realidad compleja caracterizada por una alta exigencia competitiva y una limitada infraestructura científica, médica y tecnológica de apoyo al entrenamiento. Esta situación genera una brecha significativa en la gestión de la carga física y en la prevención de lesiones, factores determinantes para la continuidad deportiva de los atletas con discapacidad. A diferencia del deporte convencional, en el que existen laboratorios biomecánicos, sistemas de monitoreo en tiempo real y personal especializado, gran parte del

entrenamiento paralímpico en Sudamérica se desarrolla en entornos con recursos escasos, lo que dificulta el seguimiento sistemático del rendimiento y la detección temprana de riesgos.

En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) ha mostrado un crecimiento acelerado en su aplicación al deporte, principalmente en disciplinas convencionales. Diversos estudios han documentado su utilidad en la estimación de carga interna y externa, el análisis de movimiento, la predicción de fatiga y la detección de patrones asociados a lesiones. No obstante, la mayoría de estos desarrollos se han realizado en contextos con amplia disponibilidad tecnológica y en poblaciones sin discapacidad, lo que limita su transferencia directa al deporte adaptado. El atleta paralímpico presenta particularidades biomecánicas y fisiológicas que exigen modelos y algoritmos adaptados a su clase funcional, así como consideraciones éticas y pedagógicas que aseguren la comprensión y el uso responsable de la información generada.

Desde la perspectiva del enfoque educativo y documental de esta investigación, la problemática no se reduce a la ausencia de tecnología, sino también a la falta de conocimiento estructurado sobre cómo la IA puede aplicarse en contextos inclusivos y de recursos limitados. Analizar y sistematizar la evidencia existente permitirá identificar buenas prácticas, vacíos metodológicos y posibilidades reales de implementación en Sudamérica. Además, este análisis servirá como base para proponer un modelo conceptual educativo-tecnológico que, sin requerir intervención experimental, oriente a entrenadores, instituciones deportivas y organismos paralímpicos sobre cómo integrar la IA de forma ética, accesible y sostenible en el entrenamiento y la prevención de lesiones.

La justificación de esta investigación radica, por tanto, en su aporte teórico y social. Desde el punto de vista académico, contribuye a la construcción de conocimiento interdisciplinario que vincula educación, deporte adaptado y tecnología emergente. Desde el punto de vista social, responde a la necesidad de equidad en el acceso a la innovación deportiva, ofreciendo alternativas viables para mejorar la salud, el rendimiento y la trayectoria de los atletas paralímpicos de la región. Finalmente, este trabajo se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

de la Agenda 2030, en especial el ODS 3 (Salud y bienestar) y el ODS 10 (Reducción de las desigualdades) (Naciones Unidas, 2015), al promover estrategias inclusivas de desarrollo deportivo basadas en evidencia científica, accesibilidad tecnológica y ética del cuidado.

Objetivos de la Investigación

Los objetivos que orientan el estudio se formularon en coherencia con el título, con la interrogante general y con las preguntas de investigación.

Objetivo General

Analizar y sintetizar la evidencia científica, técnica y normativa existente sobre la aplicación de la inteligencia artificial en el deporte paralímpico, con énfasis en el atletismo sudamericano, para proponer un modelo educativo-tecnológico accesible que contribuya a optimizar el entrenamiento y prevenir lesiones en atletas con discapacidad.

Objetivos Específicos

1. Identificar y analizar la evidencia científica, técnica y normativa disponible sobre el uso de la inteligencia artificial en el monitoreo del entrenamiento y la prevención de lesiones en el deporte de alto rendimiento, con énfasis en el deporte paralímpico y, particularmente, en el atletismo adaptado.
2. Examinar las barreras y condiciones específicas del contexto sudamericano —tecnológicas, estructurales, formativas y éticas— que limitan la adopción de herramientas basadas en inteligencia artificial en el atletismo paralímpico.
3. Proponer, a partir del análisis documental, un modelo conceptual educativo y tecnológico accesible que integre monitoreo técnico, seguimiento fisiológico básico y autorreporte del atleta como base para la prevención temprana de lesiones en el atletismo paralímpico sudamericano.

Alcance de la Investigación

El alcance de la investigación es descriptivo, analítico y propositivo. Es descriptivo, porque identifica, organiza y presenta las principales aplicaciones documentadas de la inteligencia artificial en la gestión de la carga de entrenamiento, el análisis biomecánico y la predicción del riesgo de lesión en el deporte de alto rendimiento. Es analítico, porque examina la posibilidad de transferir dichas aplicaciones al contexto del atletismo paralímpico sudamericano, considerando la diversidad funcional, la accesibilidad tecnológica y la formación profesional. Es propositivo, porque plantea un modelo educativo-tecnológico que integra monitoreo biomecánico, seguimiento fisiológico y autorreporte del atleta, orientado a la prevención temprana de lesiones.

El componente documental abarca la literatura científica, técnica y normativa sobre inteligencia artificial, entrenamiento deportivo y prevención de lesiones en atletas con discapacidad, con atención al contexto sudamericano. El componente de campo recoge las percepciones de 80 estudiantes de la carrera de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte, es decir, de futuros profesionales de la actividad física. El producto del estudio es un modelo conceptual: no se implementó con atletas ni se evaluó su efecto sobre la incidencia de lesiones, de modo que sus resultados son válidos como propuesta fundamentada y no como evidencia de eficacia.

Limitaciones de la Investigación

La primera limitación corresponde a la naturaleza del producto: el modelo educativo-tecnológico es una propuesta conceptual derivada de la revisión documental y de las percepciones de futuros profesionales, y no fue aplicado ni validado con atletas paralímpicos en condiciones reales de entrenamiento. Por ello, no se miden efectos sobre la carga, la incidencia de lesiones ni la continuidad deportiva.

La segunda se refiere a la encuesta. La muestra es no probabilística e intencional y está formada por estudiantes, no por atletas ni por entrenadores en ejercicio; sus respuestas expresan conocimientos declarados, percepciones y disposición, no conductas observadas. El carácter descriptivo del cuestionario y de la muestra impide generalizar los resultados a otras poblaciones.

Finalmente, la producción científica específica sobre inteligencia artificial en el atletismo paralímpico sudamericano es escasa y fragmentada, y gran parte de la evidencia disponible proviene de contextos con amplia infraestructura y de poblaciones sin discapacidad. Esto obliga a interpretar con cautela la transferencia de los hallazgos internacionales al contexto regional.

Factibilidad de la Investigación

La investigación fue factible porque el componente documental se apoya en fuentes accesibles en bases de datos académicas y repositorios institucionales, y porque el componente de campo se aplicó en formato digital a estudiantes de una carrera vinculada con el área de estudio, sin requerir equipamiento especializado ni acceso a laboratorios. Asimismo, el modelo propuesto se diseñó con herramientas de bajo costo —video en dos dimensiones obtenido con dispositivos móviles, sensores comerciales de frecuencia cardíaca y formularios digitales—, de manera que su implementación futura no depende de infraestructura de élite. Su aplicación requerirá, en todo caso, consentimiento informado de los atletas, protocolos de protección de datos y capacitación del cuerpo técnico (ver Anexo B).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El marco teórico relaciona los conceptos y modelos que sustentan la investigación con la realidad estudiada. Integra los antecedentes, las bases teóricas y el sistema de variables con el cual se organizaron el análisis documental y la encuesta.

Antecedentes de la Investigación

Se seleccionaron estudios recientes (2021-2025) sobre inteligencia artificial y prevención de lesiones, tecnologías de monitoreo, biomecánica paralímpica, inclusión de personas con discapacidad en el deporte y autorreporte de los atletas. En la revisión realizada no se identificó un estudio que integre estos elementos en un modelo educativo-tecnológico para el atletismo paralímpico sudamericano, afirmación que se limita a las fuentes consultadas. Para cada antecedente se indica el propósito, el método, las conclusiones y el aporte a esta investigación; su síntesis se presenta en el Anexo C.

Mishra et al. (2024), en *Harnessing an AI-driven analytics model to optimize training and treatment in physical education for sports injury prevention*, se propusieron abordar las lesiones deportivas mediante un sistema basado en aprendizaje automático que monitorea el bienestar del atleta y predice el riesgo de lesión a partir de datos de salud continuos. Aplicaron técnicas de aprendizaje automático para identificar patrones relacionados con los regímenes de entrenamiento, las estrategias de tratamiento y el riesgo y la gravedad de las lesiones. Concluyeron que el modelo mostró una buena capacidad predictiva y permitió personalizar las estrategias de prevención. Su aporte a este estudio es mostrar que la información longitudinal sobre carga y recuperación puede orientar decisiones preventivas y no solo reactivas, enfoque que debe adaptarse a las condiciones del

atletismo paralímpico, donde las decisiones de carga y descanso dependen aún de la experiencia del entrenador y de la tolerancia al dolor del atleta.

Zou (2025), en *Exploring the role of artificial intelligence in sports injury prevention and rehabilitation*, buscó examinar cómo la inteligencia artificial puede mejorar la seguridad y el rendimiento de los atletas mediante la predicción de lesiones y la optimización de la recuperación. Comparó cuatro modelos de aprendizaje automático (máquinas de vectores de soporte, bosques aleatorios, redes neuronales recurrentes y máquinas de gradiente) con datos de rendimiento, biomecánicos, de historial de lesiones y fisiológicos. La red neuronal recurrente alcanzó la mayor precisión predictiva (90 %), y los otros tres modelos obtuvieron entre 85 % y 88 %. El autor concluyó que los enfoques basados en inteligencia artificial permiten identificar riesgos de lesión y personalizar la rehabilitación. Su aporte es respaldar la combinación de datos biomecánicos, fisiológicos y del historial del atleta, que es la lógica del modelo propuesto.

Rebelo et al. (2023), en *From data to action: a scoping review of wearable technologies and biomechanical assessments informing injury prevention strategies in sport*, evaluaron cómo los entornos deportivos emplean tecnologías de monitoreo para optimizar el entrenamiento y prevenir lesiones. Realizaron una revisión de alcance siguiendo las guías PRISMA, con búsquedas en cuatro bases de datos hasta junio de 2023 y 21 estudios incluidos. Concluyeron que los datos de carga registrados con sensores aportan información útil para ajustar las cargas de entrenamiento, y que unidades GPS, acelerómetros y plataformas de fuerza ayudan a identificar patrones de riesgo de lesión. Su aporte es sustentar el uso de sensores y registros de carga como fuentes de información preventiva, aunque no se centran en deportistas paralímpicos.

Fletcher et al. (2021), en *How can biomechanics improve physical preparation and performance in paralympic athletes? A narrative review*, evaluaron la evidencia biomecánica sobre el rendimiento paralímpico publicada desde 2016, organizada según la posición corporal propia de cada deporte. El método fue una revisión narrativa. Concluyeron que las prótesis deben ajustarse a cada atleta y a las demandas de su prueba, que la configuración de la silla de ruedas es relevante para la

prevención de lesiones y la movilidad, y que el entrenamiento paralímpico exige enfoques específicos para cada discapacidad y cada prueba. Su aporte es fundamentar la heterogeneidad biomecánica del atleta paralímpico y la necesidad de individualizar la carga y la técnica.

Rosa (2025), en *The potential role of artificial intelligence to promote the participation and inclusion in physical exercise and sports for people with disabilities: A narrative review*, examinó cómo la inteligencia artificial puede atender las barreras de participación en la actividad física de las personas con discapacidad. Es una revisión narrativa. Concluyó que la inteligencia artificial facilita vías de comunicación alternativas, mejora la accesibilidad y ofrece programas de ejercicio personalizados, y que las tecnologías de asistencia pueden ayudar a superar obstáculos y a aumentar la independencia mediante el monitoreo de métricas de entrenamiento y la retroalimentación. Su aporte es vincular tres ejes del presente trabajo, a saber, discapacidad, inteligencia artificial y participación segura en la actividad física.

Coventry et al. (2023), en *"I lied a little bit." A qualitative study exploring the perspectives of elite Australian athletes on self-reported data*, buscaron conocer cómo experimentan los atletas de élite el registro de datos en los sistemas de vigilancia. Realizaron un estudio cualitativo descriptivo, con entrevistas semiestructuradas a 13 atletas y análisis temático. Encontraron que los atletas percibían el reporte como una carga, que las dificultades tecnológicas los llevaban a completar los registros de forma retroactiva y con menor exactitud, y que conocían poco el uso que se hacía de su información. Su aporte es mostrar que el autorreporte solo es útil si es breve, comprensible y devuelve información al atleta, lo que respalda los ejes pedagógico y ético del modelo.

Bases Teóricas

La presente investigación se fundamenta en un conjunto de teorías y enfoques interdisciplinarios que vinculan la inteligencia artificial (IA), la ciencia del entrenamiento deportivo, la prevención de lesiones y la educación inclusiva aplicada al deporte paralímpico. Estos marcos conceptuales permiten comprender cómo la

tecnología puede integrarse de manera ética, pedagógica y funcional en los procesos de entrenamiento de atletas con discapacidad, especialmente en el contexto sudamericano.

Teoría de la Inteligencia Artificial y su Aplicación al Deporte

La inteligencia artificial es un campo de la ciencia computacional que busca desarrollar sistemas capaces de simular funciones cognitivas humanas como el razonamiento, la percepción, el aprendizaje y la toma de decisiones (Wei et al., 2021). Desde sus orígenes, la IA ha evolucionado hacia aplicaciones prácticas en sectores como la salud, la educación, la economía y, más recientemente, el deporte. Su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos y detectar patrones invisibles al análisis humano tradicional la convierte en una herramienta estratégica en la gestión del rendimiento deportivo y la prevención de lesiones (Bhatia, 2021).

En el ámbito deportivo, la IA se ha aplicado a través de tres grandes vertientes:

a) el análisis biomecánico mediante visión por computador;
b) la modelización predictiva del rendimiento y del riesgo de lesión a través del aprendizaje automático (*machine learning*); y
c) la optimización de estrategias de entrenamiento basadas en datos fisiológicos y conductuales.

El aprendizaje automático, como subcampo central de la IA, permite que los sistemas mejoren su precisión mediante la experiencia, ajustando sus predicciones a medida que se procesan nuevos datos. En la ciencia del deporte, este enfoque se utiliza para construir modelos que aprenden de series temporales de frecuencia cardíaca, velocidad, potencia, acelerometría o percepción subjetiva del esfuerzo, generando indicadores predictivos sobre rendimiento o fatiga acumulada (Araújo et al., 2021).

Asimismo, la visión por computador permite analizar el movimiento de los atletas a partir de imágenes o videos, extrayendo variables como ángulos articulares, asimetrías o desplazamientos. Estas técnicas, combinadas con sensores portátiles, han revolucionado la biomecánica aplicada al deporte, democratizando el acceso a

mediciones antes restringidas a laboratorios costosos. En el caso del atletismo paralímpico, la IA podría reconocer patrones funcionales asociados al tipo de prótesis, al uso de silla de ruedas o a movimientos compensatorios, generando métricas específicas para cada clase funcional.

Por lo tanto, la IA aplicada al deporte no solo amplía la capacidad de análisis técnico del entrenador, sino que también se convierte en una herramienta pedagógica y de apoyo a la toma de decisiones, alineada con la necesidad de mejorar la calidad, seguridad y sostenibilidad del entrenamiento en el deporte adaptado.

Modelos de Carga, Adaptación y Fatiga: la Teoría de la Carga Aguda-Crónica

El concepto de carga de entrenamiento se refiere a la cantidad de estímulo físico, fisiológico o psicológico al que se somete un atleta durante una sesión o un período determinado. Este estímulo, si se dosifica adecuadamente, produce adaptación; si se aplica en exceso o sin recuperación suficiente, produce fatiga o lesión. El modelo de carga aguda-crónica (ACWR, por sus siglas en inglés), difundido en la prevención de lesiones deportivas por Gabbett (2016), ha sido una de las propuestas más influyentes en el área, aunque su interpretación ha sido sometida a críticas conceptuales y metodológicas (Impellizzeri et al., 2020).

Este modelo diferencia entre:

a) **Carga aguda:** la suma del esfuerzo reciente (por ejemplo, la carga acumulada en los últimos siete días).
b) **Carga crónica:** la medida de la adaptación del atleta (por ejemplo, la carga promedio de las últimas cuatro semanas).

El cociente entre ambas (ACWR) permite evaluar el equilibrio entre carga y capacidad. Según Gabbett (2016), cuando la carga aguda supera ampliamente a la crónica (por encima de un umbral aproximado de 1,5), aumenta la probabilidad de lesión. Por el contrario, una carga crónica demasiado baja puede generar desentrenamiento y mayor vulnerabilidad ante incrementos súbitos. Impellizzeri et al. (2020) advierten, sin embargo, que el cociente tiene limitaciones conceptuales y que sus umbrales no deben aplicarse de forma mecánica, razón por la cual en este estudio se emplea como referencia conceptual y no como regla de decisión.

Este modelo es altamente compatible con el uso de IA, ya que los algoritmos pueden analizar series de tiempo multivariadas para estimar el riesgo de lesión según el historial individual del atleta. En poblaciones paralímpicas, donde la simetría corporal, el gasto energético y los puntos de apoyo difieren de los patrones convencionales, el ACWR debe adaptarse considerando variables funcionales específicas. La IA facilita esta personalización al procesar simultáneamente datos biomecánicos, fisiológicos y autorreportados, construyendo umbrales individuales más precisos que los promedios poblacionales tradicionales.

Modelos Multifactoriales de Prevención de Lesiones

La prevención de lesiones en el deporte se explica a partir de modelos multifactoriales que integran causas internas y externas. Entre los más reconocidos se encuentra el modelo dinámico y recursivo de Meeuwisse et al. (2007), que conceptualiza la lesión como el resultado de una interacción continua entre factores de riesgo predisponentes, factores desencadenantes y eventos de exposición. En la formación de docentes de Educación Física, una intervención multifactorial de prevención redujo la incidencia de lesiones (Goossens et al., 2016), lo que muestra la pertinencia de este enfoque en el ámbito educativo.

Según este enfoque, el riesgo de lesión no es estático, sino que cambia con el tiempo en función del estado del atleta, la carga acumulada y las condiciones del entorno. Por ejemplo, una sesión de entrenamiento de alta intensidad puede ser segura en un atleta descansado, pero riesgosa en uno fatigado o con historial de lesión previa.

El modelo de Meeuwisse et al. (2007) ha servido como base para el diseño de programas de prevención integrales, en los cuales la IA actúa como soporte de análisis al identificar interacciones no lineales entre factores de riesgo. Esto permite pasar de estrategias universales (“el mismo plan para todos”) a intervenciones individualizadas, basadas en el monitoreo continuo y el aprendizaje adaptativo.

En el caso del deporte paralímpico, estos modelos cobran especial relevancia, ya que los factores de riesgo incluyen elementos biomecánicos derivados del tipo de discapacidad o del dispositivo asistivo utilizado. Por ello, la IA ofrece una

oportunidad única de traducir estos modelos teóricos en herramientas prácticas de prevención que respondan a la diversidad funcional del atleta.

Enfoques Educativos y Teoría del Aprendizaje Tecnológico

El proceso de integración de la IA en el deporte no es puramente técnico; implica un componente educativo que asegure la comprensión, apropiación y uso crítico de la tecnología por parte de los actores involucrados. Desde la perspectiva de la teoría sociocultural del aprendizaje de Vygotsky (1978), el conocimiento se construye mediante la interacción con herramientas culturales y mediadores sociales. En este contexto, la IA actúa como una herramienta de mediación que amplía las capacidades cognitivas y analíticas del entrenador y del atleta.

Asimismo, el aprendizaje significativo respalda la idea de que las nuevas tecnologías deben conectarse con los saberes previos de los usuarios para generar comprensión duradera (Ausubel, 1968). Por ello, la implementación de sistemas de IA en el deporte paralímpico requiere programas de capacitación que permitan a entrenadores y atletas entender la lógica de los indicadores, interpretar los resultados y aplicarlos a la toma de decisiones.

Desde un enfoque pedagógico contemporáneo, el constructivismo aplicado a la tecnología plantea que las tecnologías deben ser integradas no como instrumentos aislados, sino como recursos para promover autonomía, reflexión y aprendizaje continuo. En el ámbito del deporte adaptado, esto significa que la IA no debe reemplazar el juicio humano ni la experiencia práctica, sino complementarlos mediante la generación de evidencia objetiva y personalizada.

Finalmente, la alfabetización tecnológica inclusiva sostiene que el acceso equitativo a la tecnología implica no solo disponer de herramientas, sino comprender su funcionamiento y sus límites éticos. De ahí que el modelo educativo-tecnológico propuesto en esta investigación incorpore un componente formativo que permita una apropiación responsable de la IA, evitando la dependencia ciega de sistemas automatizados.

Principios Éticos y Justicia Tecnológica en el Deporte Adaptado

La incorporación de IA en el deporte paralímpico requiere un marco ético sólido basado en los principios de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia (Beauchamp & Childress, 2019). Estos principios garantizan que el uso de la tecnología beneficie al atleta, respete su dignidad y no incremente las desigualdades ya existentes.

La justicia tecnológica, entendida como la distribución equitativa de los beneficios derivados de la innovación, es esencial en contextos como el sudamericano, donde las disparidades en recursos son significativas. Según Bitomsky et al. (2025), la equidad digital exige diseñar herramientas accesibles, inclusivas y adaptadas culturalmente. En el deporte paralímpico, McNamee et al. (2021) examinan la equidad y la tecnología desde tres marcos de equidad (de fondo, procedimental y de lo que está en juego) y señalan la necesidad de mayor clarificación y teorización de las reglas sobre el uso de tecnología.

En el caso del deporte paralímpico, esto implica que los sistemas de IA deben cumplir con estándares de accesibilidad universal, proteger los datos biomédicos sensibles y garantizar la transparencia en la interpretación de resultados. El principio de equidad algorítmica debe guiar el desarrollo de modelos que no penalicen a determinados grupos funcionales (por ejemplo, amputaciones bilaterales o discapacidades neuromotoras severas).

Asimismo, la ética de la IA en el deporte requiere considerar el consentimiento informado, la gobernanza de datos y la corresponsabilidad entre investigadores, entrenadores y atletas. La tecnología, usada de forma ética, puede convertirse en un medio para empoderar al atleta con discapacidad, promoviendo su autonomía y bienestar, en lugar de reducirlo a un sujeto de control o medición. En Ecuador, el tratamiento de datos personales se rige por la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (Asamblea Nacional del Ecuador, 2021), que exige el consentimiento informado y limita el uso de datos sensibles, entre ellos los datos de salud.

Integración Conceptual y Modelo Propuesto

La convergencia de los marcos teóricos descritos permite articular una propuesta integral para el atletismo paralímpico sudamericano.

a) Desde la IA aplicada al deporte, se aporta la capacidad de procesar datos complejos y ofrecer análisis predictivos individualizados.
b) Desde la teoría de carga aguda-crónica, se establecen los parámetros conceptuales para estimar y gestionar el riesgo de lesión.
c) Desde los modelos multifactoriales, se comprende la naturaleza dinámica y contextual de las lesiones.
d) Desde la educación inclusiva y la alfabetización tecnológica, se asegura la comprensión y apropiación pedagógica de las herramientas.
e) Desde la ética y la justicia tecnológica, se garantiza que la innovación respete la diversidad funcional y promueva la equidad.

Con base en esta integración, la presente investigación propone un modelo educativo-tecnológico conceptual que permita, desde un enfoque documental, orientar el diseño de sistemas de IA accesibles para el monitoreo técnico, fisiológico y perceptivo de los atletas paralímpicos. Este modelo no pretende reemplazar la intervención humana, sino fortalecerla mediante la combinación de evidencia científica, interpretación pedagógica y compromiso ético.

Variable 1: Inteligencia Artificial Aplicada al Entrenamiento y la Prevención de Lesiones en Atletas Paralímpicos

La inteligencia artificial (IA), en el contexto deportivo, se entiende como el conjunto de métodos computacionales capaces de analizar grandes volúmenes de información del deportista, reconocer patrones y generar predicciones o recomendaciones útiles para la toma de decisiones en el entrenamiento y la salud (Zou, 2025). En el ámbito específico del deporte paralímpico, la IA se orienta a dos propósitos centrales: (a) optimizar el proceso de preparación física y técnica mediante la personalización de la carga de trabajo, y (b) anticipar riesgos de lesión a partir de cambios biomecánicos, fisiológicos o autorreportados que preceden a la lesión visible. Así, la IA deja de ser solo una herramienta de análisis de rendimiento y se

convierte en un sistema de apoyo preventivo y protectivo para la continuidad deportiva del atleta con discapacidad.

Monitoreo biomecánico asistido por IA

El monitoreo biomecánico asistido por IA se refiere al uso de algoritmos de visión por computador y análisis automatizado de movimiento para extraer variables técnicas relevantes del gesto deportivo (por ejemplo, cadencia, longitud de zancada, ángulos articulares, distribución del empuje en silla de ruedas, simetría/asimetría) (Qazi & Iqbal, 2024). A diferencia de la observación tradicional del entrenador, este tipo de análisis cuantifica microvariaciones del patrón de movimiento que pueden anticipar sobrecargas o compensaciones peligrosas. En el caso de atletas paralímpicos, este componente es especialmente importante, ya que las asimetrías y compensaciones no siempre son “errores técnicos”, sino adaptaciones funcionales. El objetivo, por tanto, no es imponer simetría absoluta, sino identificar cuándo una compensación deja de ser funcional y empieza a generar riesgo.

Monitoreo fisiológico y de carga interna

Este componente se refiere al seguimiento de variables fisiológicas asociadas a la respuesta del cuerpo frente a las exigencias del entrenamiento, tales como frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), fatiga percibida y calidad del sueño. En términos operativos, este seguimiento permite estimar la “carga interna” del deportista: es decir, cuánto estrés fisiológico representa una misma tarea física para distintos atletas (Moreno-Villanueva et al., 2022). En poblaciones paralímpicas, este monitoreo es crítico porque la fatiga neuromuscular, la sobrecarga articular o el dolor residual pueden aparecer en estructuras corporales sometidas a uso compensatorio (por ejemplo, hombros en usuarios de silla o segmento sano en amputaciones unilaterales). La IA, al integrar series temporales de estas señales fisiológicas, puede detectar patrones de fatiga acumulada que indican riesgo futuro de lesión.

Autorreporte y percepción del atleta como insumo del sistema

Además de los datos objetivos, la IA puede incorporar información subjetiva proporcionada directamente por el atleta: dolor localizado, percepción del esfuerzo

(RPE), sensación de fatiga, tolerancia al entrenamiento del día, confianza en la ejecución técnica. Este autorreporte tiene un valor doble. Por un lado, captura información que los sensores no detectan, como molestias iniciales o sensación de inestabilidad. Por otro lado, empodera al atleta como sujeto activo en la gestión de su propia salud deportiva. En el caso del deporte paralímpico, esto adquiere una dimensión ética: escuchar al atleta no es opcional, es estructural, ya que el umbral de dolor, el uso de dispositivos de asistencia y la experiencia corporal son altamente individuales. La experiencia de atletas de élite muestra, además, que el reporte puede percibirse como una carga y que, cuando los atletas desconocen el uso de sus datos o no reciben retroalimentación, tienden a completar los registros de forma retroactiva y con menor exactitud (Coventry et al., 2023); por ello, el autorreporte debe ser breve y devolver información útil al atleta.

Variable 2: Prevención de Lesiones en el Atletismo Paralímpico Sudamericano

Definición

La prevención de lesiones se entiende como el conjunto de estrategias sistemáticas orientadas a reducir la probabilidad de que un atleta sufra una lesión deportiva y a minimizar la gravedad y el impacto funcional de aquellas que ocurren (Harrington et al., 2021). En el atletismo paralímpico, la prevención de lesiones no se limita al control del dolor o a la rehabilitación posterior, sino que implica la gestión anticipada de factores de riesgo asociados a la carga de entrenamiento, a las demandas biomecánicas específicas de cada clase funcional y al uso de ayudas técnicas (por ejemplo, prótesis de carrera o sillas deportivas). Desde una perspectiva de salud deportiva inclusiva, prevenir lesiones en atletas paralímpicos significa proteger la continuidad del entrenamiento, sostener la participación competitiva y garantizar la autonomía del atleta a largo plazo.

Factores de riesgo y carga de entrenamiento

La prevención de lesiones requiere identificar y vigilar los factores que incrementan la probabilidad de daño, en línea con los modelos causales que vinculan la carga de entrenamiento con la lesión (Kalkhoven et al., 2021). Entre los más relevantes se encuentran:

a) **Sobrecarga mecánica repetitiva:** por ejemplo, el uso continuo e intenso del mismo segmento corporal (hombros en atletas de silla de ruedas, miembro sano en corredores con amputación unilateral).
b) **Desbalance entre carga aguda y crónica:** aumentos bruscos de volumen o intensidad que superan la capacidad de adaptación reciente del atleta.
c) **Compensaciones técnicas no controladas:** alteraciones en la mecánica del gesto (cambio de zancada, modificación del ángulo de empuje, pérdida de estabilidad) que aparecen como respuesta a fatiga o dolor previo.
d) **Fatiga no resuelta:** recuperación insuficiente entre sesiones, asociada a fatiga neuromuscular, falta de sueño o estrés residual.

En el deporte paralímpico, muchos de estos factores están directamente relacionados con la condición funcional del atleta. La clase funcional condiciona qué estructuras corporales quedan sometidas a mayor carga, qué patrones de movimiento son posibles y qué compensaciones se vuelven inevitables (Fletcher et al., 2021). Esto significa que el riesgo de lesión es específico, no genérico: no todos los atletas enfrentan el mismo tipo de amenaza biomecánica.

Desde esta perspectiva, la prevención deja de ser únicamente fisioterapéutica y pasa a ser estratégica: ajustar dosis de entrenamiento, planificar descansos, modular intensidad y rediseñar movimientos para que sigan siendo eficientes, pero no destructivos.

Vigilancia, autorreporte y toma de decisiones preventivas

La prevención de lesiones efectiva en el atletismo paralímpico requiere sistemas de vigilancia continua y toma de decisiones informada. Esta vigilancia combina tres dimensiones:

a) Monitoreo técnico-biomecánico: análisis del gesto deportivo (zancada, empuje, ángulo articular, estabilidad segmentaria) para identificar cambios que puedan anticipar lesión.
b) Monitoreo fisiológico y de carga interna: seguimiento de indicadores como frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca, fatiga

percibida y calidad del sueño, que revelan el costo fisiológico real del entrenamiento.

c) Autorreporte del atleta: registro sistemático de dolor localizado, molestias recurrentes, sensación de sobreesfuerzo o inseguridad funcional. Este componente subjetivo es especialmente crítico en deporte paralímpico, porque el atleta conoce mejor que nadie las respuestas particulares de su cuerpo, de su prótesis o de su silla.

El papel de la inteligencia artificial se hace visible en esta etapa: al integrar estas tres fuentes de información, es posible generar señales de alerta tempranas que permitan actuar antes de la lesión, como sugieren los modelos predictivos revisados (Mishra et al., 2024; Zou, 2025). Dichas alertas orientan decisiones preventivas como ajustar la carga semanal, modificar la técnica, reprogramar sesiones de alta intensidad o introducir periodos de recuperación dirigidos.

Sistema de Hipótesis

La investigación no formula hipótesis. Por su carácter documental, descriptivo y propositivo, y porque la encuesta se limita a describir conocimientos, percepciones y disposición de los participantes sin contrastar relaciones entre variables, el trabajo se desarrolla con base en los objetivos y las preguntas de investigación, conforme lo permiten las Normas UNICAL. En consecuencia, al evaluar el logro de los objetivos no corresponde confirmar o refutar hipótesis.

Sistema de Variables

El estudio considera dos variables: la inteligencia artificial aplicada al entrenamiento y la prevención de lesiones (variable 1) y la prevención de lesiones en el atletismo paralímpico sudamericano (variable 2). Dado que el diseño es descriptivo y no se asume una relación causal entre ellas, no se las clasifica como independiente y dependiente (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018); cada una se descompone en dimensiones que orientaron el análisis documental y el cuestionario.

Conceptualización de Variables

El Cuadro 1 define conceptual y operacionalmente cada variable y la vincula con los objetivos específicos.

Cuadro 1
Conceptualización de las Variables

Objetivo Específico	Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
1. Identificar y analizar la evidencia científica, técnica y normativa sobre el uso de la IA en el monitoreo y la prevención de lesiones. 3. Proponer un modelo educativo-tecnológico accesible.	Variable 1. Inteligencia artificial aplicada al entrenamiento y la prevención de lesiones	Conjunto de métodos computacionales capaces de analizar grandes volúmenes de información del deportista, reconocer patrones y generar predicciones o recomendaciones útiles para el entrenamiento y la salud (Zou, 2025).	Monitoreo biomecánico, monitoreo fisiológico y de carga interna, autorreporte, integración predictiva del riesgo y componente educativo y ético, valorados mediante el análisis documental y las dimensiones 1 a 5 del cuestionario.
2. Examinar las barreras del contexto sudamericano que limitan la adopción de herramientas de IA. 3. Proponer un modelo educativo-tecnológico accesible.	Variable 2. Prevención de lesiones en el atletismo paralímpico sudamericano	Conjunto de estrategias sistemáticas orientadas a reducir la probabilidad de lesión y a minimizar su gravedad e impacto funcional, protegiendo la continuidad deportiva (Harrington et al., 2021).	Factores de riesgo funcionales y de carga, vigilancia y control preventivo, continuidad deportiva y salud del atleta, cultura preventiva y formación técnica, y utilidad percibida del modelo, según las dimensiones 6 a 10 del cuestionario.

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de Zou (2025) y Harrington et al. (2021).

Operacionalización de Variables

Cada variable se descompuso en dimensiones e indicadores, que se vincularon con los ítems del cuestionario (ver Anexo D). El Cuadro 2 resume esta relación.

Cuadro 2
Operacionalización de las Variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Instrumento	Ítems
Variable 1. IA aplicada al entrenamiento y la prevención de lesiones	1. Monitoreo biomecánico asistido por IA	Análisis de técnica mediante video; detección de asimetrías y compensaciones	Cuestionario	P5 a P7
	2. Monitoreo fisiológico y de carga interna	Frecuencia cardíaca (FC); variabilidad de la FC (HRV); fatiga acumulada	Cuestionario	P8 a P10

Variable	Dimensión	Indicadores	Instrumento	Ítems
	3. Autorreporte y retroalimentación del atleta	Dolor localizado; percepción del esfuerzo; calidad del sueño	Cuestionario	P11 a P13
	4. Integración predictiva de riesgo mediante IA	Alertas tempranas; estimación del riesgo de lesión; ajuste de carga	Cuestionario	P14 a P16
	5. Componente educativo y ético en el uso de IA	Comprensión de indicadores; uso responsable de datos; equidad en la aplicación tecnológica	Cuestionario	P17 a P19
Variable 2. Prevención de lesiones en el atletismo paralímpico sudamericano	6. Factores de riesgo funcionales y de carga	Sobrecarga repetitiva; desbalance de carga aguda y crónica; compensaciones técnicas	Cuestionario	Entre P20 y P31
	7. Vigilancia y control preventivo	Seguimiento de carga; registro temprano de dolor y fatiga; ajustes antes de la lesión	Cuestionario	Entre P20 y P31
	8. Continuidad deportiva y salud del atleta	Reducción de interrupciones por lesión; sostenibilidad del entrenamiento; bienestar físico	Cuestionario	Entre P20 y P31
	9. Cultura preventiva y formación técnica	Adopción de estrategias de autocuidado; comprensión del valor de la prevención	Cuestionario	Entre P20 y P31
	10. Impacto del modelo educativo-tecnológico propuesto	Utilidad percibida del sistema; posibilidad de aplicación regional	Cuestionario	P32 a P34

Fuente: EL AUTOR. (2025).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo explica cómo se desarrolló el estudio: el tipo y diseño de la investigación, la población y la muestra, el área de investigación, las técnicas e instrumentos de recolección, los procedimientos de validación y confiabilidad, la técnica de análisis y las fases cumplidas.

Tipo de Investigación

La investigación es de tipo documental y de campo. Es documental porque analiza de forma sistemática, crítica e interpretativa fuentes secundarias (artículos científicos, informes técnicos, consensos y documentos institucionales) sobre la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el deporte paralímpico, el entrenamiento deportivo y la prevención de lesiones (Bowen, 2009). Es de campo porque, de manera complementaria, obtuvo información directamente de 80 estudiantes mediante una encuesta estructurada.

El enfoque es mixto, con predominio cualitativo (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Creswell & Plano Clark, 2018): el análisis documental y la formulación del modelo propuesto son de naturaleza cualitativa, mientras que la encuesta se trata de manera cuantitativa y descriptiva, como complemento que aporta información sobre la comprensión, la percepción y la disposición de futuros profesionales frente al modelo. El diseño es no experimental, transversal y descriptivo, pues no se manipulan variables ni se interviene sobre atletas, y los datos de campo se recogieron en un solo momento.

Alcance

El alcance es descriptivo, analítico y propositivo. Es descriptivo, porque organiza y presenta las aplicaciones documentadas de la IA en la gestión de la carga, el análisis biomecánico y la predicción del riesgo de lesión; analítico, porque examina su posible transferencia al atletismo paralímpico sudamericano; y propositivo, porque

plantea un modelo educativo-tecnológico que integra monitoreo biomecánico, seguimiento fisiológico y autorreporte del atleta. Asimismo, el estudio valora la comprensión y la aceptación de este modelo entre futuros profesionales de la Educación Física, e identifica fortalezas, debilidades y condiciones para su implementación.

Componente documental

Consistió en una revisión analítica de la literatura científica, técnica y normativa relacionada con la IA aplicada al deporte, la prevención de lesiones y el entrenamiento de atletas con discapacidad. Las fuentes incluyen artículos indexados, informes técnicos, consensos clínicos y documentos institucionales de organismos deportivos nacionales e internacionales. Se desarrolló en cuatro etapas:

a) **Búsqueda y selección de fuentes.** Se identificaron publicaciones en bases de datos académicas (Scopus, ScienceDirect, PubMed, Redalyc y SciELO) y repositorios institucionales, priorizando los estudios de los últimos diez años e incorporando documentos fundacionales relevantes para la biomecánica y la salud deportiva paralímpica.

b) **Criterios de inclusión y exclusión.** Se incluyeron investigaciones sobre IA aplicada al deporte, prevención de lesiones, deporte paralímpico o barreras tecnológicas y éticas en Sudamérica; se excluyeron textos motivacionales sin base científica, publicidad comercial y documentos sin enfoque deportivo o preventivo.

c) **Análisis temático e interpretación crítica.** La información se organizó en cuatro categorías analíticas: IA y análisis biomecánico; IA y prevención de lesiones; IA, accesibilidad y equidad en el deporte paralímpico; y factores estructurales, éticos y formativos en Sudamérica. En cada una se extrajeron definiciones operativas, beneficios, limitaciones y vacíos metodológicos.

d) **Síntesis y formulación del modelo conceptual.** A partir del análisis se construyó un modelo educativo-tecnológico adaptado al atletismo paralímpico sudamericano, que integra el monitoreo biomecánico, la

evaluación fisiológica accesible y el autorreporte del atleta, bajo principios éticos y pedagógicos.

Componente de campo

Es de tipo descriptivo transversal. Se aplicó una encuesta estructurada a una muestra de 80 estudiantes, con el propósito de identificar su nivel de conocimiento sobre IA aplicada al deporte, sus percepciones sobre su uso en la prevención de lesiones, su disposición para aplicar tecnologías de monitoreo y análisis en poblaciones con discapacidad, y su valoración ética y educativa de la IA en el atletismo paralímpico. Los resultados permiten analizar la viabilidad formativa y la aceptación del modelo conceptual en entornos educativos y profesionales vinculados con el deporte adaptado.

Población y Muestra

Población documental

La población documental está conformada por la totalidad de publicaciones científicas, técnicas y normativas que abordan la IA en el deporte, la prevención de lesiones, el entrenamiento de atletas paralímpicos y las condiciones estructurales del atletismo adaptado en Sudamérica. De ella se seleccionaron, conforme a los criterios de inclusión y exclusión, las fuentes citadas en este trabajo.

Población de campo

La población de campo corresponde a los estudiantes matriculados en la carrera de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte, quienes representan una comunidad académica directamente relacionada con la formación en entrenamiento, actividad física e inclusión deportiva.

Muestra

La muestra es no probabilística e intencional y está conformada por 80 estudiantes seleccionados por su vinculación académica y profesional con el ámbito deportivo (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). La elección intencional se justifica porque se buscó explorar las percepciones de un grupo con conocimiento disciplinar sobre entrenamiento y salud deportiva, lo que permitió valorar el nivel de comprensión y la disposición hacia la integración de la IA en el deporte paralímpico.

La participación en la encuesta fue voluntaria y anónima, y el formato de consentimiento informado se incluye en el Anexo E.

Área de Investigación

El área de investigación comprende, en el componente documental, el campo de conocimiento que articula la IA, la ciencia del entrenamiento deportivo, la prevención de lesiones y el deporte paralímpico, con énfasis en el atletismo y en el contexto sudamericano; y, en el componente de campo, la carrera de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte, de la cual proviene la muestra. El estudio no se desarrolló en un escenario de entrenamiento con atletas.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Se emplearon dos técnicas principales:

a) **Revisión documental**, utilizada para la recopilación y el análisis de información proveniente de fuentes secundarias (artículos, informes, normas y guías). Su instrumento fue una matriz de análisis documental, que permitió registrar de cada fuente el autor, el año, el tipo de estudio, el contexto, las variables, los resultados, las limitaciones y los aportes al modelo conceptual (ver Anexo F).

b) **Encuesta estructurada**, aplicada a los 80 estudiantes, diseñada para obtener información sobre sus conocimientos, percepciones y actitudes frente al uso de la IA en la prevención de lesiones y en el deporte paralímpico. Su instrumento fue un cuestionario estructurado.

El cuestionario se elaboró con base en la operacionalización de las variables (Cuadro 2) y abarca las diez dimensiones de las variables 1 y 2, además de los datos generales de los participantes (género, semestre y formación previa en deporte adaptado y en IA aplicada al deporte). Los ítems se identifican con la letra P y recogen el grado de acuerdo de los participantes con enunciados sobre cada dimensión. [Número total de ítems y escala de respuesta del cuestionario.] Su carácter es descriptivo y formativo, no diagnóstico. El instrumento fue validado (ver apartado de validación) y se aplicó en formato digital [fecha o período de aplicación de la encuesta].

Validación

Se aplicó la validez de contenido mediante juicio de expertos, procedimiento que permite verificar que los ítems del cuestionario correspondan con los objetivos y las dimensiones de las variables. Conforme a las Normas UNICAL, la valoración debe estar a cargo de un número impar de expertos, con un mínimo de tres. Cada experto valoró la claridad, la pertinencia, la coherencia y la suficiencia de los ítems mediante la ficha de validación (ver Anexo G). Participaron [número de expertos (impar, mínimo tres), con el nombre y la profesión de cada uno]. [Observaciones recibidas y modificaciones realizadas al cuestionario.] Las fichas firmadas se conservan en el expediente del estudiante.

Confiabilidad

Para la revisión documental, la confiabilidad se sustentó en la trazabilidad del proceso: criterios explícitos de inclusión y exclusión, categorías analíticas definidas a priori a partir de los objetivos y registro de cada fuente en la matriz de análisis. Para el cuestionario, que es descriptivo y no constituye una escala destinada a medir un constructo, se resguardó la consistencia mediante la depuración de las respuestas (completitud, coherencia interna y descarte de duplicados) y su interpretación se limita a frecuencias y porcentajes por ítem y por dimensión. [Coeficiente de consistencia interna y muestra piloto, si se calcularon.]

Técnica de Análisis de Datos

El análisis se realizó en dos niveles: el de las fuentes documentales y el de las respuestas de la encuesta aplicada a los 80 estudiantes.

Análisis de datos documentales

Se aplicó un análisis de contenido de carácter temático (Braun & Clarke, 2006; Bowen, 2009), en tres momentos. En primer lugar, la codificación inicial: a cada fuente seleccionada se le asignaron códigos definidos a partir de los ejes de los objetivos específicos, a saber, IA y monitoreo biomecánico; IA y prevención de lesiones; gestión de la carga interna y fatiga; autorreporte del deportista; barreras tecnológicas, éticas y formativas en el contexto sudamericano; y continuidad deportiva y protección de la salud del atleta paralímpico. En segundo lugar, la

agrupación temática: las coincidencias entre fuentes se organizaron en patrones recurrentes, como la utilidad de la IA para detectar asimetrías técnicas antes de la aparición del dolor, la fatiga no resuelta como predictor de lesión o las limitaciones tecnológicas que dificultan el monitoreo objetivo y continuo en Sudamérica. En tercer lugar, el análisis interpretativo comparativo, que permitió determinar qué se había demostrado previamente, qué limitaciones metodológicas y éticas habían sido advertidas y cuáles soluciones de la literatura internacional resultaban viables para el atletismo paralímpico sudamericano y cuáles requerían adaptación técnica, pedagógica o ética.

Este análisis permitió identificar los elementos mínimos de un sistema educativo-tecnológico basado en IA para la región y detectar vacíos y tensiones en la literatura, como el riesgo de sesgo algorítmico hacia determinadas clases funcionales, la subrepresentación de atletas paralímpicos en los desarrollos tecnológicos y la ausencia de marcos éticos sólidos para el resguardo de los datos fisiológicos y biomecánicos de deportistas con discapacidad.

Análisis de datos de la encuesta

Se efectuó un análisis cuantitativo de tipo descriptivo. Primero, una depuración inicial: se revisó la completitud y la coherencia interna de las encuestas y se descartaron posibles duplicados, y solo se consideraron válidas las encuestas respondidas en su totalidad. Segundo, la codificación de los ítems, cada uno asociado previamente a una dimensión de las variables operacionalizadas. Tercero, el cálculo de estadísticos descriptivos (frecuencias absolutas y relativas y porcentajes), que permitió determinar qué proporción de los estudiantes conocía herramientas de IA aplicadas al entrenamiento, cuántos consideraron que la IA puede contribuir a la prevención de lesiones en atletas con discapacidad, cuántos manifestaron disposición a utilizar sistemas de monitoreo biomecánico, fisiológico y de autorreporte, y cuál fue su nivel de conciencia ética sobre la protección de datos. Finalmente, un análisis interpretativo, en el que los resultados se relacionaron con el modelo propuesto para estimar su comprensibilidad, la apertura formativa para su implementación y las barreras percibidas.

De este modo, los hallazgos cuantitativos complementaron el análisis documental: mientras la revisión de la literatura justificó la necesidad técnica y ética de un sistema de apoyo preventivo, la encuesta aportó información sobre su nivel de aceptación, comprensión y apropiación potencial por parte de quienes podrían implementarlo en el futuro.

Fases de la Investigación

El estudio se desarrolló en seis fases:

Fase 1. **Delimitación del problema y revisión documental** de la literatura sobre IA, deporte paralímpico y prevención de lesiones (búsqueda, selección y análisis de fuentes).

Fase 2. **Construcción de la matriz de análisis documental y del cuestionario**, a partir de la operacionalización de las variables, y validación del cuestionario por juicio de expertos.

Fase 3. **Aplicación de la encuesta** en formato digital a los 80 estudiantes de la muestra.

Fase 4. **Análisis de los datos**: análisis temático de las fuentes documentales y estadística descriptiva de la encuesta.

Fase 5. **Integración de resultados y formulación del modelo** educativo-tecnológico, con sus componentes, ejes transversales, ruta de implementación e indicadores.

Fase 6. **Discusión, conclusiones y recomendaciones**, y verificación del logro de los objetivos.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados siguiendo el orden de los objetivos específicos. Combina dos fuentes: la revisión documental, que sustenta la identificación de la evidencia y de las barreras y la formulación del modelo, y la encuesta aplicada a 80 estudiantes de la carrera de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte, cuyos resultados describen conocimientos declarados, percepciones y disposición. Por ello, los hallazgos de la encuesta no miden el efecto de ninguna herramienta ni representan la opinión de atletas, y se interpretan como la perspectiva de futuros profesionales. El tercer objetivo incluye la propuesta del modelo educativo-tecnológico.

Análisis Detallado de los Resultados

Caracterización de la Muestra Encuestada

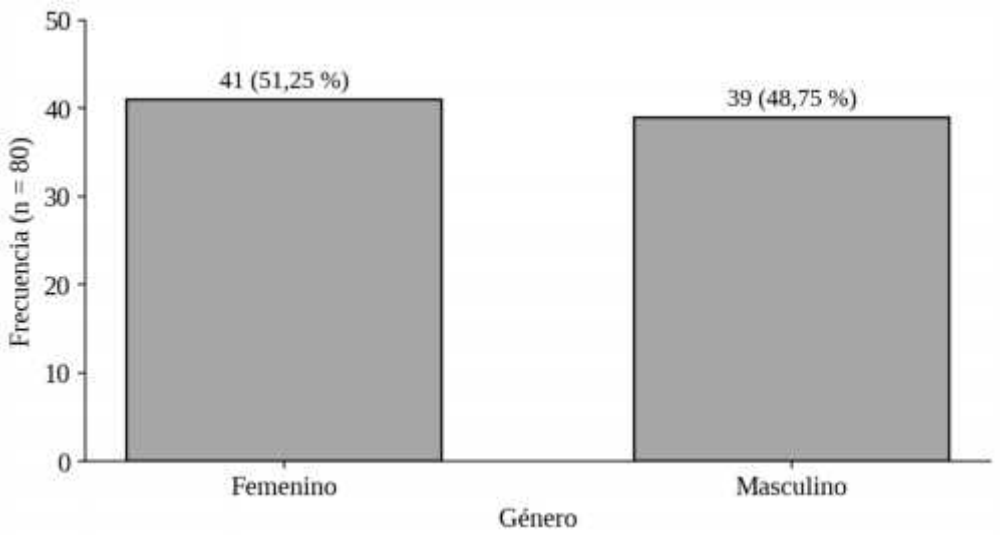
La muestra estuvo conformada por 80 estudiantes de la carrera de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte, quienes respondieron un cuestionario estructurado sobre percepciones, conocimiento declarado y disposición de uso de herramientas basadas en IA aplicadas al entrenamiento y la prevención de lesiones en el deporte paralímpico sudamericano. Se trata de una población con proyección profesional directa en actividad física, preparación física y prevención de lesiones. El Cuadro 3 y el Gráfico 1 muestran la distribución por género.

Cuadro 3
Distribución de la Variable Género en la Muestra de Estudio

Categorías	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje
Femenino	41	0,5125	51,25
Masculino	39	0,4875	48,75
Total	80	1	100

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

Gráfico 1
Distribución por Género de los Estudiantes Encuestados



Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

Se observa una distribución equilibrada entre los géneros: del total de 80 estudiantes, el 51,25 % corresponde al género femenino y el 48,75 % al masculino. La composición balanceada de la muestra sugiere que las percepciones recogidas no se encuentran influenciadas por el predominio de un género.

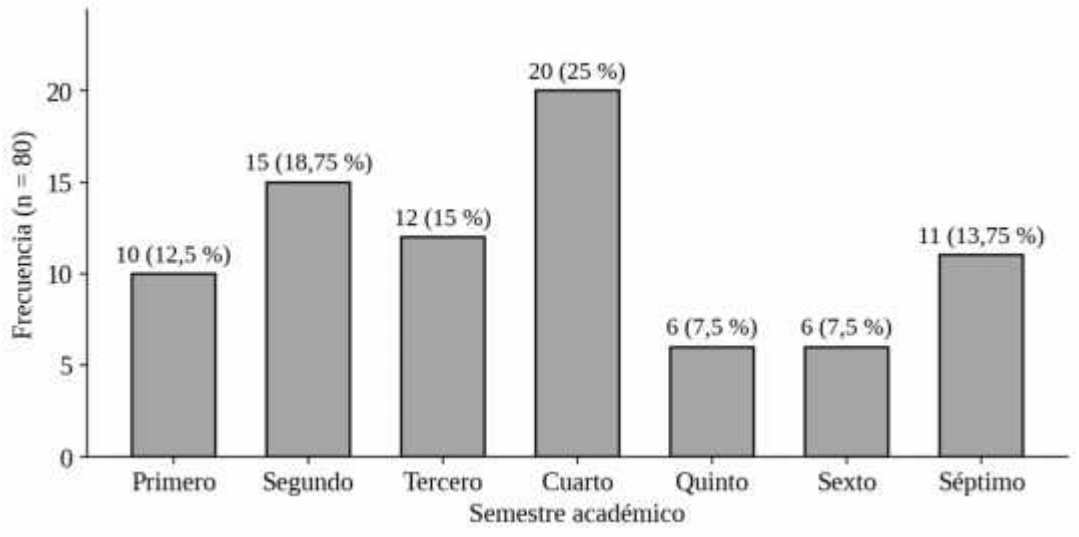
El Cuadro 4 y el Gráfico 2 presentan la distribución según el semestre académico.

Cuadro 4
Distribución de los Estudiantes según el Semestre Académico

Semestre	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje
Primero	10	0,1250	12,50
Segundo	15	0,1875	18,75
Tercero	12	0,1500	15,00
Cuarto	20	0,2500	25,00
Quinto	6	0,0750	7,50
Sexto	6	0,0750	7,50
Séptimo	11	0,1375	13,75
Total	80	1	100

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

Gráfico 2
Distribución de los Estudiantes según el Semestre Académico



Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

El mayor número de estudiantes pertenece al cuarto semestre (25 %), seguido por el segundo (18,75 %), mientras que los menores porcentajes corresponden al quinto y al sexto semestre (7,5 % cada uno). La presencia de estudiantes de diferentes niveles académicos proporciona una visión amplia sobre el conocimiento y la aceptación de la IA en el contexto del entrenamiento y la prevención de lesiones en el deporte paralímpico.

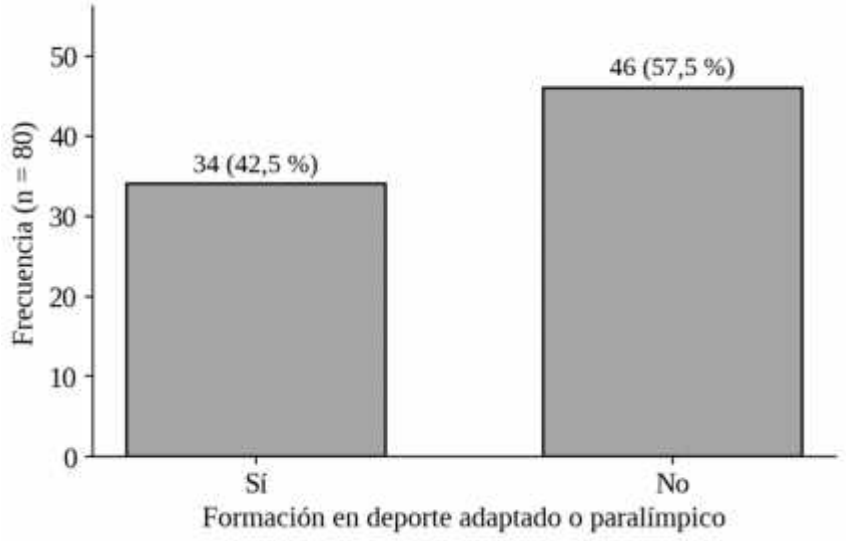
Respecto de la formación previa, el 42,5 % de los estudiantes (34) manifestó haber recibido formación relacionada con el deporte adaptado o paralímpico, mientras que el 57,5 % (46) indicó no haberla recibido (Cuadro 5 y Gráfico 3).

Cuadro 5
Formación de los Estudiantes en Deporte Adaptado o Paralímpico

Categorías	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje
Sí	34	0,425	42,5
No	46	0,575	57,5
Total	80	1	100

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

Gráfico 3
Formación en Deporte Adaptado o Paralímpico



Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

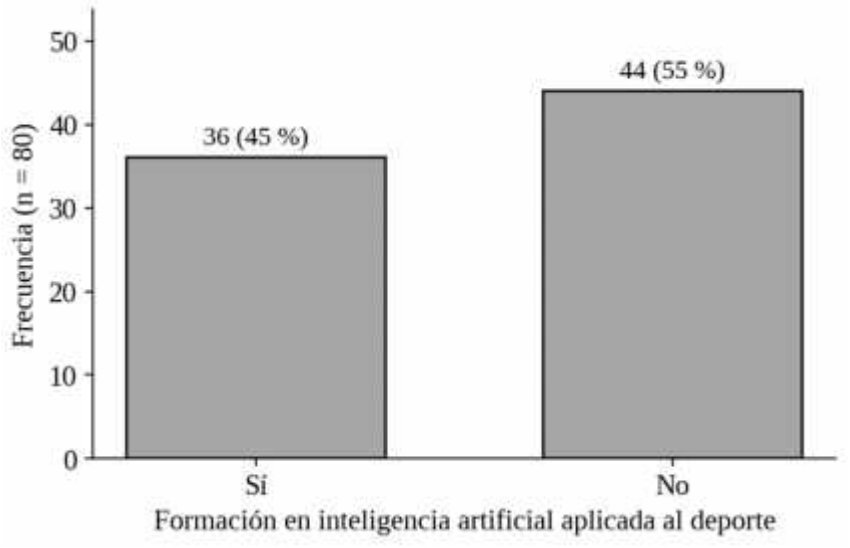
Este resultado indica que una parte del grupo posee conocimientos o experiencias previas en el campo, pero que la mayoría no recibió esa preparación, lo que refleja la necesidad de fortalecer los contenidos formativos sobre inclusión y deporte adaptado en la malla curricular universitaria. En cuanto a la formación en IA aplicada al deporte, el 45 % (36 estudiantes) declaró haberla recibido y el 55 % (44) no (Cuadro 6 y Gráfico 4).

Cuadro 6
Formación de los Estudiantes en Inteligencia Artificial Aplicada al Deporte

Categorías	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje
Sí	36	0,45	45,0
No	44	0,55	55,0
Total	80	1	100

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

Gráfico 4
Formación en Inteligencia Artificial Aplicada al Deporte



Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

Aunque la IA comienza a incorporarse en la formación profesional en Educación Física, su presencia aún no es universal. Esto es relevante porque la aceptación práctica de un modelo educativo-tecnológico basado en IA para la prevención de lesiones dependerá, en parte, del nivel de exposición previa que los futuros profesionales tengan a estas herramientas. El análisis descriptivo sugiere, además, que la población en formación reconoce la especificidad biomecánica y funcional de los atletas con discapacidad, así como los riesgos asociados al sobreuso, las compensaciones técnicas y las cargas unilaterales: no se percibe al atleta paralímpico como un atleta convencional más, sino como un sujeto con demandas físicas propias que requieren control preventivo diferenciado.

Evidencia Científica, Técnica y Normativa sobre IA en el Monitoreo y la Prevención de Lesiones

Este apartado responde al primer objetivo específico. La revisión documental permitió identificar un cuerpo de evidencia creciente que vincula la IA con el monitoreo del entrenamiento y la prevención de lesiones en el deporte de alto rendimiento. Esta evidencia proviene de tres fuentes principales: estudios científicos

publicados en revistas especializadas, documentos técnicos elaborados por equipos interdisciplinarios en ciencias del deporte y lineamientos normativos o institucionales sobre el uso ético de datos biométricos y funcionales de los atletas. El Cuadro 7 sintetiza las líneas de evidencia identificadas.

Cuadro 7
Síntesis de la Evidencia Documental sobre IA, Monitoreo y Prevención de Lesiones

Línea de evidencia	Hallazgo de la revisión	Relevancia para el atletismo paralímpico
Científica: análisis biomecánico	La IA se aplica para estimar ángulos articulares, cadencia, longitud de zancada, tiempos de apoyo y patrones de asimetría, y permite identificar desequilibrios técnicos antes de la aparición del dolor.	Muchos gestos competitivos son asimétricos (prótesis, silla de ruedas); detectar a tiempo las asimetrías permite intervenir antes de las lesiones por sobreuso.
Técnica: carga interna y fatiga	Modelos de aprendizaje automático procesan frecuencia cardíaca, su variabilidad, acelerometría, fatiga percibida y sueño para estimar el estrés acumulado y generar indicadores de riesgo a corto plazo.	Los márgenes de tolerancia al esfuerzo varían según el tipo de discapacidad, la historia de lesión y la forma de desplazamiento.
Técnica: datos objetivos y subjetivos	Se integran video, sensores y autorreporte diario (dolor, fatiga, descanso), con el atleta como agente activo de su prevención.	El umbral de fatiga depende de factores posturales, neuromotores o protésicos; el autorreporte permite interpretar el riesgo con realismo contextual.
Normativa y ética	Los datos de atletas paralímpicos son información sensible: se exigen consentimiento informado, confidencialidad, anonimización en el análisis y prohibición de uso punitivo o excluyente.	Los sistemas predictivos deben usarse para adaptar la carga y proteger, no para descartar atletas considerados frágiles.
Distribución geográfica	Las aplicaciones de alto nivel provienen de contextos con amplio soporte científico; en Sudamérica la producción es fragmentada y la disponibilidad de monitoreo continuo es limitada. Existen alternativas de bajo costo.	La brecha exige adaptación y no implica ausencia de soluciones: video con dispositivos móviles, sensores inerciales comerciales y formularios digitales.

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la revisión documental.

En primer lugar, la evidencia científica muestra que la IA puede utilizarse para analizar de manera automatizada variables biomecánicas del movimiento deportivo (Qazi & Iqbal, 2024). En disciplinas como el atletismo, se ha aplicado para estimar ángulos articulares, cadencia, longitud de zancada, tiempos de apoyo y patrones de asimetría entre segmentos, lo que permite identificar, antes de la aparición del dolor, desequilibrios técnicos asociados a sobrecarga unilateral o a

compensaciones mecánicas repetitivas. En los deportes paralímpicos esta línea adquiere especial importancia porque muchos gestos competitivos se realizan en condiciones biomecánicas no simétricas, como las de los atletas con amputaciones que corren con prótesis o los atletas en silla de ruedas que transfieren la carga repetidamente a los hombros (Fletcher et al., 2021). Detectar estas asimetrías de forma temprana es clave para intervenir antes de que deriven en lesiones por sobreuso que comprometan la continuidad deportiva.

En segundo lugar, se identificó evidencia técnica que utiliza modelos de aprendizaje automático para procesar variables fisiológicas y de carga interna (Mishra et al., 2024; Zou, 2025). Estos desarrollos suelen combinar frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca, acelerometría, percepción subjetiva de fatiga y calidad del sueño, con el fin de estimar el estrés fisiológico acumulado del atleta y su capacidad de recuperación, y generar indicadores de riesgo lesional a corto plazo que alertan sobre fatiga no resuelta o carga excesiva. En contextos paralímpicos esta dimensión es crítica, ya que los márgenes de tolerancia al esfuerzo pueden variar considerablemente según el tipo de discapacidad, la historia de lesión previa y la forma de desplazamiento. De este modo, la IA no se limita a describir el estado actual del deportista, sino que contribuye a tomar decisiones preventivas y a ajustar la carga antes de que se produzca una lesión incapacitante.

En tercer lugar, se identificaron experiencias que integran simultáneamente datos objetivos (video, sensores) y subjetivos (autorreporte), lo que representa una tendencia metodológica relevante. En estos modelos, el propio atleta registra a diario su dolor localizado, su fatiga percibida y la calidad del descanso, y esa información se incorpora al sistema como una señal de alerta. Esta práctica pone en el centro al deportista como agente activo de su propia prevención. En el atletismo paralímpico, donde el umbral de fatiga puede estar condicionado por factores posturales, neuromotores o protésicos, el autorreporte continuo es fundamental para interpretar el riesgo con realismo contextual y no únicamente con parámetros normativos derivados del deporte convencional; su utilidad depende, sin embargo, de que el registro sea breve y de que el atleta reciba retroalimentación (Coventry et al., 2023).

En cuarto lugar, se identificaron lineamientos de corte normativo y ético que advierten que el uso de IA en el monitoreo deportivo implica responsabilidades específicas cuando se trata de poblaciones vulnerables, como los atletas con discapacidad. Los datos biomecánicos, fisiológicos y funcionales de los atletas paralímpicos constituyen información sensible; por ello su uso debe estar regulado por principios como el consentimiento informado, la confidencialidad, la anonimización cuando los datos se utilicen con fines analíticos o de investigación y la prohibición explícita de empleo punitivo o excluyente (Asamblea Nacional del Ecuador, 2021; McNamee et al., 2021). Estas orientaciones enfatizan que los sistemas predictivos de riesgo no deben utilizarse para descartar atletas considerados frágiles, sino para adaptar la carga y ofrecer protección específica a articulaciones o estructuras sobreexigidas.

Otro hallazgo clave es la asimetría en la distribución geográfica de la evidencia. La mayor parte de las aplicaciones tecnológicas de alto nivel, en especial las que combinan captura de movimiento de alta resolución con IA, proviene de contextos con amplio soporte científico, infraestructura biomecánica avanzada y servicios médicos deportivos especializados. En el espacio sudamericano y, particularmente, en el atletismo paralímpico regional, la producción técnica y científica es más fragmentada y la disponibilidad de plataformas de monitoreo continuo es limitada. Sin embargo, esa brecha no implica ausencia de soluciones, sino necesidad de adaptación: existen alternativas de bajo costo, como el análisis de video desde dispositivos móviles, los sensores inerciales comerciales y los formularios digitales de autorreporte, que podrían integrarse en un sistema educativo-tecnológico sin requerir laboratorios de élite.

Finalmente, la revisión permitió identificar un punto de convergencia: el discurso contemporáneo ya no entiende la prevención de lesiones como una tarea aislada del área médica, sino como una responsabilidad compartida entre cuerpo técnico, deportista y estructura institucional. En ese marco, la IA se presenta como una aliada para sostener trayectorias deportivas seguras y prolongadas, reducir las interrupciones por lesión y garantizar la continuidad competitiva. En síntesis, la

evidencia científica respalda el uso de IA para el análisis biomecánico y el control de carga; la evidencia técnica muestra que es posible generar alertas preventivas tempranas a partir de datos combinados; y la evidencia normativa insiste en que ese uso debe ser ético, formativo y no excluyente. A la luz de esta revisión se justifica la construcción de un modelo educativo-tecnológico que articule tres componentes: monitoreo biomecánico accesible, seguimiento fisiológico básico y autorreporte sistemático del atleta, enmarcados en una cultura de prevención y no de descarte.

En la encuesta, los estudiantes se pronunciaron sobre los cuatro primeros componentes de la IA incluidos en el cuestionario: monitoreo biomecánico, monitoreo fisiológico y de carga interna, autorreporte e integración predictiva del riesgo. El Cuadro 8 resume el resultado descrito para cada dimensión.

Cuadro 8
Resultados de la Encuesta sobre los Componentes de la IA para la Prevención de Lesiones

Dimensión	Ítems	Resultado descrito	Acuerdo y total acuerdo (%)
1. Monitoreo biomecánico asistido por IA	P5 a P7	Alto nivel de acuerdo con la utilidad de analizar en video la técnica del atleta y de utilizar software para detectar asimetrías de movimiento que podrían derivar en lesión.	[dato]
2. Monitoreo fisiológico y de carga interna	P8 a P10	La mayoría coincidió en que la frecuencia cardíaca, la fatiga acumulada y la recuperación deben registrarse sistemáticamente y utilizarse para ajustar la carga de forma individualizada.	[dato]
3. Autorreporte y retroalimentación del atleta	P11 a P13	Valoración positiva: consideraron importante que el atleta informe a diario dolor localizado, fatiga percibida y calidad del sueño, y aceptaron el uso de herramientas digitales (aplicaciones o formularios).	[dato]
4. Integración predictiva de riesgo mediante IA	P14 a P16	Consideraron útil que un sistema automatizado emita alertas de riesgo antes de la aparición de dolor significativo y que el cuerpo técnico modifique el entrenamiento en respuesta a ellas.	[dato]

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

En cuanto al análisis biomecánico asistido por IA, hubo un alto nivel de acuerdo con la utilidad de analizar en video la técnica del atleta y de utilizar software para detectar asimetrías que podrían derivar en lesión. Este tipo de respuesta indica

que los encuestados comprenden la IA no solo como una herramienta de rendimiento, sino como una herramienta preventiva. De manera consistente, en los ítems de monitoreo fisiológico y de carga interna la mayoría coincidió en que variables como la frecuencia cardíaca, la fatiga acumulada o la recuperación deberían registrarse sistemáticamente y utilizarse para ajustar la carga de entrenamiento de manera individualizada. Esta idea es clave en contextos paralímpicos, donde la tolerancia a la carga y la distribución del esfuerzo no siempre siguen patrones estándar; que los futuros profesionales se muestren de acuerdo con adaptar la carga al cuerpo real del atleta y no solo al plan general refuerza la necesidad de integrar métodos objetivos y continuos de seguimiento.

Los resultados también evidenciaron una valoración positiva del autorreporte del atleta: los encuestados consideraron importante que el propio deportista informe a diario dolor localizado, fatiga percibida y calidad del sueño, y aceptaron la idea de utilizar aplicaciones o formularios para recoger esa información. Esta disposición sitúa al atleta como un actor activo en la prevención y no únicamente como un receptor pasivo de carga; para el atletismo paralímpico, donde el umbral de fatiga puede cambiar rápidamente según la condición funcional, esta cultura de autorreporte temprano es un elemento protector frente a las lesiones por sobreuso.

En los ítems sobre predicción temprana del riesgo mediante IA, los estudiantes consideraron útil que un sistema automatizado emita alertas de riesgo antes de la aparición de dolor significativo y señalaron que el cuerpo técnico debería modificar el entrenamiento en respuesta a esas alertas. Esto indica apertura a un modelo preventivo proactivo: no esperar a que el atleta se lesione para intervenir, sino ajustar la carga cuando el riesgo está aumentando. Para el caso sudamericano, donde muchos equipos no cuentan con servicio médico deportivo constante, un sistema de alertas tempranas puede representar una forma accesible de protección de la trayectoria deportiva del atleta.

Barreras y Condiciones del Contexto Sudamericano

Este apartado responde al segundo objetivo específico. El análisis documental y contextual permitió identificar un conjunto de barreras que dificultan la

incorporación efectiva de herramientas basadas en IA en el atletismo paralímpico sudamericano. Estas barreras no son únicamente tecnológicas, sino también estructurales, formativas y éticas; en conjunto configuran un entorno en el cual la IA es reconocida como una oportunidad preventiva y de apoyo al rendimiento, pero enfrenta obstáculos concretos para su implementación sostenible y equitativa. El Cuadro 9 las resume.

Cuadro 9
Barreras para la Adopción de IA en el Atletismo Paralímpico Sudamericano

Tipo	Barrera	Descripción y efecto
Tecnológica	Acceso desigual a infraestructura	Ausencia de laboratorios biomecánicos de alta precisión, escasez de sensores fisiológicos confiables y falta de software analítico específico para poblaciones con discapacidad; el monitoreo depende de la observación directa y de la tolerancia al dolor.
Tecnológica	Falta de interoperabilidad	Los datos de relojes, pulsómetros y aplicaciones quedan fragmentados en plataformas que no dialogan, lo que dificulta integrar biomecánica, carga y autorreporte.
Estructural	Limitado soporte médico-deportivo	Falta de acceso estable a fisioterapeutas, médicos del deporte o analistas biomecánicos; las señales tempranas no siempre generan ajustes del plan.
Estructural	Centralización de recursos	Los recursos se concentran en selecciones, centros olímpicos y capitales, mientras el desarrollo real ocurre en clubes, ligas y programas universitarios.
Estructural	Prioridad competitiva sobre la preventiva	En la competencia internacional prevalece el resultado inmediato; el control preventivo puede percibirse como un freno.
Formativa	Brecha en deporte adaptado	La formación no siempre incluye criterios de prevención específicos por tipo de discapacidad, por lo que la prevención se vuelve genérica.
Formativa	Brecha en IA aplicada al deporte	Aceptación de la IA con formación técnica limitada en lectura de indicadores, lo que genera dependencia de la "caja negra" o desconfianza operativa.
Ética	Protección de datos sensibles	Los datos son altamente identificables; sin protocolos de anonimización, custodia y acceso controlado, el riesgo de uso indebido es real.
Ética	Uso de la IA como criterio de exclusión	Riesgo de que los sistemas de riesgo se usen para seleccionar y no para proteger.
Ética	Desigualdad entre atletas	Si solo algunos atletas reciben acompañamiento con IA, se amplía la inequidad competitiva y en salud.

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la revisión documental.

Barreras tecnológicas

Una de las principales limitaciones es el acceso desigual a infraestructura tecnológica. A diferencia de los centros de alto rendimiento ubicados en contextos con fuerte inversión estatal o privada, gran parte de los programas de atletismo paralímpico en Sudamérica opera con recursos restringidos. Esto se refleja en: La ausencia de laboratorios biomecánicos con equipamiento de captura de movimiento de alta precisión, la disponibilidad limitada de sensores fisiológicos confiables y calibrados (por ejemplo, bandas de frecuencia cardíaca con registro continuo, plataformas de fuerza o acelerometría triaxial especializada) y la falta de software analítico específico para poblaciones con discapacidad configuran este escenario.

En muchos casos, los cuerpos técnicos no disponen de herramientas que permitan un monitoreo continuo de carga externa e interna, sino que dependen de observación directa, percepción subjetiva del atleta y criterios empíricos de "tolerancia al dolor". Esto coloca al deportista en un escenario reactivo: se interviene cuando la molestia ya escala a lesión, más que cuando aparecen los primeros indicadores de riesgo.

Además, incluso cuando se dispone de dispositivos comerciales (por ejemplo, relojes deportivos, pulsómetros, apps de registro), suele faltar interoperabilidad. Es decir, los datos quedan fragmentados en plataformas que no dialogan entre sí, lo que dificulta la creación de modelos predictivos de riesgo lesional que integren biomecánica, carga y autorreporte. Sin esa integración, la IA pierde potencia práctica.

Barreras estructurales

Las barreras estructurales se relacionan con la forma en que está organizado el deporte paralímpico en la región. Tres elementos destacan: el limitado soporte médico-deportivo especializado, la centralización de recursos y la prioridad competitiva sobre la preventiva.

Muchos atletas paralímpicos de atletismo en Sudamérica entrenan sin contar con acceso estable a fisioterapeutas deportivos, médicos del deporte o analistas biomecánicos. Esto hace que, aunque existan señales tempranas de sobrecarga (por ejemplo, dolor de hombro en usuarios de silla de ruedas de pista, o irritación residual

en el muñón de un atleta con prótesis), dichas señales no siempre se traducen en ajustes sistemáticos del plan de entrenamiento.

Los recursos más avanzados suelen concentrarse en selecciones nacionales, centros olímpicos/paralímpicos o capitales de país. Sin embargo, gran parte del desarrollo real ocurre en niveles subnacionales (clubes, ligas locales, programas universitarios, asociaciones deportivas pequeñas). Esta centralización provoca que la tecnología llegue tarde o nunca a las etapas formativas, justo donde sería más valiosa como prevención temprana.

En escenarios de competencia internacional ajustada (Parapanamericanos, clasificatorios, rankings IPC), prevalece todavía una cultura orientada al resultado inmediato. En esa lógica, el control de carga preventiva puede ser percibido como "freno" y no como inversión en continuidad deportiva. La IA, cuando es entendida como un sistema que sugiere bajar volumen, rotar estímulos o introducir descanso estratégico, puede ser resistida si se la percibe como amenaza al rendimiento a corto plazo.

Barreras formativas

La revisión de la evidencia y los datos de la encuesta sugieren una brecha formativa doble. Por una parte, solo el 42,5 % de los estudiantes encuestados declaró haber recibido formación vinculada al deporte adaptado o paralímpico (Cuadro 5) y el 45 % declaró formación en IA aplicada al deporte (Cuadro 6). Por otra, aun cuando se haya recibido formación en deporte adaptado, esta no siempre incluye criterios finos de prevención de lesiones específicos por tipo de discapacidad: el manejo preventivo del sobreuso de hombro en atletas usuarios de silla de ruedas no es equivalente al manejo preventivo de las tensiones residuales en el encaje protésico de un atleta amputado transfemoral. Cuando esta especificidad no se enseña, la prevención se vuelve genérica y, por tanto, menos efectiva.

En cuanto a la IA aplicada al deporte, la mayoría de los futuros profesionales reconoce el valor potencial de la IA, acepta el uso de monitoreo biomecánico y de carga y está dispuesta a integrar alertas tempranas de riesgo. Sin embargo, esa

aceptación convive con una formación técnica limitada en lectura e interpretación de indicadores, lo que tiene dos consecuencias directas:

a) **Dependencia excesiva de la "caja negra":** el riesgo de que la IA sea obedecida sin comprensión crítica ("el sistema dijo descanso, entonces descanso"), lo cual genera pasividad técnica.
b) **Desconfianza operativa:** cuando el entrenador o futuro docente no entiende cómo se generó una alerta, puede elegir ignorarla porque "no es real" o "el atleta dice que está bien".

En ambos casos la adopción de la IA se debilita. La barrera, por tanto, no es solo el acceso a la herramienta, sino la alfabetización tecnológica y biomecánica aplicada a la discapacidad.

Barreras éticas

En el contexto sudamericano emergen preocupaciones éticas que inciden directamente en la viabilidad de implementar sistemas de IA. La primera es la protección de datos sensibles: los datos fisiológicos, biomecánicos y funcionales de los atletas paralímpicos son, en muchos casos, directamente vinculables a su tipo de discapacidad y a su condición corporal, lo que los hace altamente identificables, y en ausencia de protocolos claros de anonimización, custodia, consentimiento informado y acceso controlado el riesgo de uso indebido es real. La segunda es el uso de la IA como criterio de exclusión: existe el peligro de que los sistemas predictivos se utilicen como argumento de selección ("este atleta es demasiado riesgoso; mejor no lo llevamos a competir") en lugar de entenderse como herramientas de protección ("este atleta necesita una estrategia preventiva personalizada para poder competir con seguridad"); sin una regulación ética explícita, la IA podría reforzar desigualdades en vez de reducirlas. La tercera es la desigualdad entre atletas: si solo los atletas de élite o de las ciudades con mejor infraestructura reciben acompañamiento tecnológico, mientras otros siguen entrenando con criterios de ensayo y error, se amplía la brecha interna del sistema paralímpico, con consecuencias en la equidad competitiva y, en última instancia, en la salud (Bitomsky et al., 2025).

En la dimensión educativa y ética de la encuesta, los participantes expresaron los niveles más altos de acuerdo. Coincidieron en que cualquier implementación de IA debe ir acompañada de capacitación técnica para entrenadores y atletas, en que los datos fisiológicos y biomecánicos del deportista deben manejarse con estricta confidencialidad y en que la IA debe utilizarse para proteger la salud del atleta con discapacidad y no para excluirlo por considerarlo de alto riesgo. Esta postura legitima la IA como herramienta de cuidado y no de discriminación: la tecnología debe servir para sostener la participación del atleta, no para limitarla. El Cuadro 10 resume los resultados de las dimensiones 5 y 9.

Cuadro 10
Resultados de la Encuesta sobre las Dimensiones Educativa, Ética y de Cultura Preventiva

Dimensión	Ítems	Resultado descrito	Acuerdo y total acuerdo (%)
5. Componente educativo y ético en el uso de IA	P17 a P19	Los niveles más altos de acuerdo: capacitación técnica para entrenadores y atletas, confidencialidad de los datos y uso de la IA para proteger y no para excluir.	[dato]
9. Cultura preventiva y formación técnica	Entre P20 y P31	[Resultado descrito de la dimensión]	[dato]

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

Modelo Educativo-Tecnológico Propuesto

Este apartado responde al tercer objetivo específico. A partir de la revisión documental, del análisis del contexto sudamericano y de la percepción de los futuros profesionales, se propone un modelo conceptual educativo y tecnológico orientado a la prevención temprana de lesiones en el atletismo paralímpico. Este modelo reconoce que la realidad regional está marcada por recursos limitados, brechas de acceso tecnológico y falta de acompañamiento médico especializado continuo; por tanto, su propósito no es replicar una infraestructura de laboratorio de élite, sino ofrecer una estructura funcional, ética y pedagógicamente sostenible que pueda operar en campo.

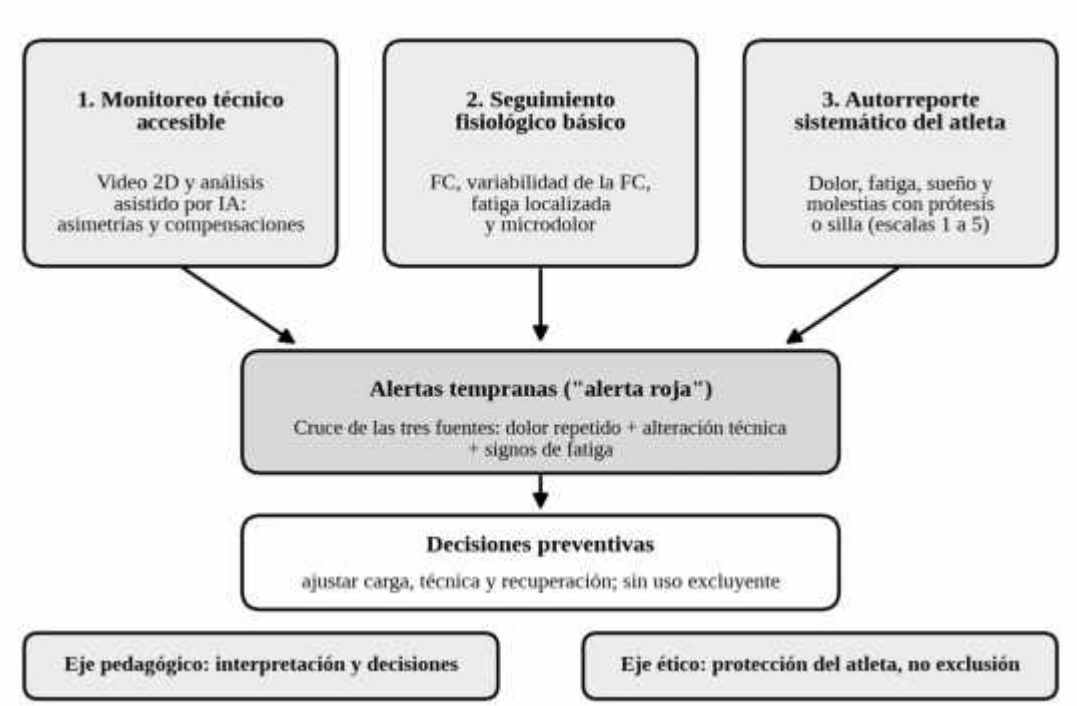
Objetivo y fundamentación del modelo

El objetivo del modelo es orientar a entrenadores, instituciones deportivas y organismos paralímpicos en la integración ética, accesible y sostenible de la IA para anticipar el riesgo de lesión, ajustar la carga antes del daño y proteger la continuidad deportiva del atleta. Se fundamenta en el modelo de carga aguda-crónica como referencia conceptual, en los modelos multifactoriales de lesión, en la mediación pedagógica de la tecnología y en los principios éticos de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia (Beauchamp & Childress, 2019). No pretende reemplazar el juicio del cuerpo técnico ni del atleta, sino fortalecerlo con información oportuna.

Estructura del modelo

El modelo se organiza en torno a tres componentes operativos interdependientes: (1) monitoreo técnico accesible, (2) seguimiento fisiológico básico y (3) autorreporte sistemático del atleta. Estos componentes se sostienen sobre dos ejes transversales: (a) la interpretación pedagógica por parte del equipo técnico y (b) la protección ética de los datos del deportista. El Gráfico 5 presenta la estructura general y los Cuadros 11 a 14 detallan cada componente y los ejes.

Gráfico 5
Modelo Educativo-Tecnológico para la Prevención Temprana de Lesiones



Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir del análisis documental.

Cuadro 11
Componente de Monitoreo Técnico Accesible dentro del Modelo Educativo-Tecnológico Propuesto

Elemento del componente	Descripción
Definición	Registro y análisis básico de la ejecución técnica del atleta mediante video y herramientas de inteligencia artificial accesibles, utilizando cámaras convencionales o dispositivos móviles en entornos reales de entrenamiento.
Contexto de aplicación	Pista, zona de lanzamientos, gimnasio, silla de ruedas de competición u otros espacios habituales de preparación deportiva; no requiere laboratorio 3D especializado.
Objetivo principal	Detectar tempranamente alteraciones técnicas asociadas a riesgo de lesión antes de que la lesión se manifieste clínicamente.
Aspectos observables	– Asimetrías en el gesto deportivo (por ejemplo, diferencias entre el lado protésico y el biológico en corredores amputados; diferencias de empuje entre brazos en usuarios de silla de ruedas). – Compensaciones mecánicas repetitivas. – Patrones de técnica que aumentan la carga sobre una articulación específica.

Elemento del componente	Descripción
Herramientas sugeridas	Captura de video en 2D; software de análisis asistido por IA que permite marcar segmentos corporales, trayectorias articulares y patrones de movimiento sin equipamiento de laboratorio especializado.
Lesiones o sobrecargas que se busca anticipar	Sobrecarga de hombro en atletas que compiten en silla de ruedas; irritación del muñón o del encaje protésico en atletas amputados; estrés lumbar asociado a gestos de transferencia o empuje repetitivo; pérdida de estabilidad en el apoyo.
Uso pedagógico para el cuerpo técnico	Forma a entrenadores y estudiantes de Educación Física como observadores capaces de interpretar señales técnicas de riesgo, no solo de valorar el rendimiento.
Uso pedagógico para el atleta	Proporciona retroalimentación visual inmediata que el deportista puede comprender e interiorizar, fortaleciendo la conciencia corporal y la participación activa en su propia prevención.
Valor estratégico dentro del modelo	No prioriza "medir con precisión de laboratorio", sino "detectar a tiempo". Permite actuar preventivamente, ajustando la técnica o la carga antes de que aparezca una lesión por sobreuso.

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la revisión documental y el modelo propuesto.

El segundo componente es el seguimiento fisiológico básico, que se describe en el Cuadro 12.

Cuadro 12
Componente de Seguimiento Fisiológico Básico dentro del Modelo Educativo-Tecnológico Propuesto

Elemento del componente	Descripción
Definición	Control cotidiano de la carga interna y del estado de fatiga del atleta mediante mediciones fisiológicas accesibles, sin requerir equipamiento de laboratorio de alto costo.
Variables monitoreadas	– Frecuencia cardíaca en reposo y durante cargas específicas. – Variabilidad de la frecuencia cardíaca como indicador indirecto de recuperación autonómica. – Percepción de fatiga muscular localizada tras sesiones de alta demanda. – Registro de microdolor o sensibilidad en zonas críticas (hombros, muñones, zona lumbar, muñecas).
Finalidad preventiva	Identificar estados de sobrecarga antes de que se transformen en lesión; detectar aumentos inusuales de fatiga, dolor localizado recurrente o recuperación insuficiente entre sesiones.

Elemento del componente	Descripción
Mecanismo de interpretación	Análisis de tendencias simples a lo largo del tiempo (por ejemplo, aumento progresivo de la frecuencia cardíaca ante el mismo estímulo o recuperación cada vez más lenta) y uso de reglas de decisión preventivas (por ejemplo, "recuperación deteriorada + dolor localizado = riesgo elevado en los próximos 7 a 14 días").
Tipo de alertas que genera	Alertas tempranas de riesgo de sobrecarga funcional. No confirman lesión, pero advierten vulnerabilidad en una zona anatómica o en una función (hombro dominante en silla de ruedas, muñón en contacto con la prótesis, zona lumbar en gestos de empuje).
Decisiones prácticas derivadas	– Reducir el volumen de repeticiones en sesiones de alta exigencia. – Modificar la intensidad del empuje en silla de ruedas o en desplazamiento asistido. – Cambiar el tipo de estímulo (técnico y controlado en lugar de potencia máxima). – Introducir sesiones de descarga activa o recuperación dirigida.
Valor estratégico para el atletismo paralímpico sudamericano	Permite personalizar la carga de entrenamiento sin tecnología costosa, atendiendo a las demandas reales de cada atleta según su discapacidad, su historial de lesión y su tolerancia funcional.
Dimensión formativa	Educa al entrenador y al futuro profesional de Educación Física a no asumir que todos los planes de carga son universalmente tolerables, y refuerza la idea de que cada cuerpo tiene límites específicos que deben ser monitoreados y respetados.
Rol dentro del modelo	Actúa como "sistema de alerta temprana" fisiológica: no se limita a generar números, sino que orienta ajustes concretos de carga para proteger la continuidad deportiva antes de que aparezca una lesión incapacitante.

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la revisión documental y el modelo propuesto.

El tercer componente es el autorreporte sistemático del atleta (Cuadro 13). Para su aplicación se proponen un formato de autorreporte y un registro de seguimiento fisiológico (ver Anexo H y Anexo I).

Cuadro 13
Componente de Autorreporte Sistemático del Atleta dentro del Modelo Educativo-Tecnológico Propuesto

Elemento del componente	Descripción
Definición	Registro diario o periódico, realizado por el propio atleta, sobre su estado percibido en relación con dolor, fatiga, recuperación y tolerancia funcional al entrenamiento.

Elemento del componente	Descripción
Variables autorreportadas	– Dolor localizado (ubicación y nivel de intensidad). – Fatiga general percibida. – Calidad del sueño y recuperación subjetiva. – Molestias asociadas al uso de prótesis, encajes, empuñaduras o silla de ruedas deportiva.
Finalidad preventiva	Detectar señales tempranas de sobrecarga, irritación o malestar funcional que todavía no se han expresado como lesión clínica evidente, pero que pueden anticipar una lesión por sobreuso o una interrupción del entrenamiento.
Relevancia específica en deporte paralímpico	Muchas molestias iniciales (irritación del muñón, dolor de muñeca por empuje repetitivo, sobrecarga de hombro en silla, molestias por contacto protésico) no siempre aparecen en una evaluación biomecánica estándar. Solo el propio atleta puede reportarlas con precisión y a tiempo.
Integración con otros componentes del modelo	El autorreporte se cruza con el monitoreo técnico (video) y el seguimiento fisiológico básico. Cuando el atleta informa dolor repetido en una articulación y, a la vez, se observan alteraciones técnicas y signos de fatiga, se genera una "alerta roja" de riesgo de lesión por sobreuso.
Herramienta de recolección sugerida	Formularios estandarizados de bajo costo: bitácora diaria, hoja digital o aplicación sencilla, con escalas breves del 1 al 5 (dolor, fatiga, calidad de recuperación) para maximizar la adherencia incluso en contextos con baja conectividad o sin supervisión médica constante.
Uso pedagógico para el atleta	Refuerza la conciencia corporal y la autogestión del riesgo. El atleta deja de ser un receptor pasivo de carga y se convierte en un agente activo que participa en la decisión de cuándo ajustar el volumen, la intensidad o el tipo de estímulo.
Uso pedagógico para el cuerpo técnico	Enseña a entrenadores y futuros profesionales de Educación Física a escuchar sistemáticamente la percepción del deportista y a considerarla como dato válido en la planificación diaria, al mismo nivel que los datos objetivos.
Valor estratégico dentro del modelo preventivo	Permite intervenir antes de la lesión incapacitante sin equipamiento costoso. Sostiene la continuidad deportiva porque activa ajustes tempranos (bajar la carga, modificar el patrón técnico, introducir descarga) en respuesta a señales informadas por el propio atleta.
Consideración ética	El autorreporte debe usarse como mecanismo de protección, nunca como argumento para excluir al atleta por "riesgo". El registro pertenece primero al deportista y debe manejarse con confidencialidad y respeto.

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la revisión documental y el modelo propuesto.

Los componentes se sostienen sobre dos ejes transversales, el pedagógico y el ético, que se describen en el Cuadro 14. La información técnica y el seguimiento de

los datos se apoyan en la ficha de observación técnica por video (ver Anexo J) y en la matriz de alertas y decisiones preventivas (ver Anexo K); el uso de los datos requiere el consentimiento del atleta o, cuando sea menor de edad, el de su representante y el asentimiento del propio atleta (ver Anexo L y Anexo M).

Cuadro 14
Ejes Transversales del Modelo Educativo-Tecnológico para la Prevención Temprana de Lesiones en el Atletismo Paralímpico Sudamericano

Eje / elemento clave	Descripción	Implicación práctica
Rol crítico del autorreporte del atleta	El autorreporte diario o periódico del propio atleta (dolor localizado, fatiga percibida, calidad del sueño, molestias asociadas a prótesis, encajes, empuñaduras o silla) constituye la primera señal de alerta. Muchas molestias relevantes en el atletismo paralímpico no son visibles externamente ni detectables de inmediato por métodos biomecánicos clásicos (por ejemplo, irritación del muñón, sobrecarga de muñeca en el empuje en silla).	Permite identificar el riesgo antes de que exista lesión clínica evidente. Si un atleta reporta un aumento sostenido de dolor en una zona crítica (por ejemplo, hombro dominante) y esto coincide con alteración técnica observada en video y con signos fisiológicos de fatiga, se genera una "alerta roja" de riesgo de lesión por sobreuso que exige intervención inmediata. No requiere tecnología costosa: requiere constancia y registro estructurado.
Eje pedagógico: interpretación y toma de decisiones	El modelo no se limita a recolectar datos: asume que solo tienen valor si se traducen en acciones comprensibles en el entrenamiento. La capa pedagógica actúa como puente entre lo que se mide y lo que se hace en pista, e implica formar al equipo técnico y al propio atleta en: (a) lectura de alertas de riesgo; (b) criterios claros para bajar la carga, cambiar el estímulo o derivar; y (c) una cultura preventiva no asociada a la "debilidad".	Ejemplos operativos: "riesgo moderado en hombro derecho" se traduce en "ajustar el volumen de empuje en silla durante las próximas tres sesiones"; "fatiga residual alta + dolor localizado" se traduce en "cambiar la sesión de potencia por una sesión técnica controlada". La prevención deja de ser reactiva y pasa a ser parte estructural y anticipatoria del plan de entrenamiento.
Eje ético: protección del atleta, no exclusión	La información generada por el monitoreo técnico, fisiológico y autorreportado es información sensible: puede exponer vulnerabilidades mecánicas, zonas de sobrecarga crónica o fatiga. El modelo establece que debe usarse con tres condiciones mínimas: consentimiento informado (el atleta sabe qué se mide y por qué), confidencialidad (protección de datos personales y funcionales) y finalidad preventiva (cuidar, no descartar).	Se prohíbe el uso de las alertas de riesgo como mecanismo de selección negativa ("este atleta es riesgoso, no compite"); las alertas deben activar apoyo y ajuste de carga para preservar la continuidad deportiva. Esto es especialmente crítico en Sudamérica, donde una lesión severa puede significar no solo la interrupción de la carrera competitiva, sino un impacto funcional directo en la vida cotidiana del atleta.
Función estratégica de estos ejes dentro del modelo	Los ejes pedagógico y ético garantizan que la IA no se convierta en una "caja negra" que dicta decisiones sin comprensión crítica o que legitima exclusiones. En cambio, convierten la IA en una herramienta formativa y protectora, orientada a sostener trayectorias deportivas seguras y prolongadas.	Se consolida una cultura técnica de prevención temprana transferible a contextos con recursos limitados. Esto permite que el atletismo paralímpico sudamericano adopte prácticas de reducción del riesgo lesional sin depender de laboratorios de élite, siempre bajo principios de respeto a la autonomía y a la dignidad del atleta.

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la revisión documental y el modelo propuesto.

Ruta de implementación

Para que el modelo pueda aplicarse en el futuro en un programa de atletismo paralímpico, se propone una ruta de cinco fases (Cuadro 15). La ruta no fija plazos ni metas numéricas: estos deben definirse con cada programa, a partir de su línea base real, antes de iniciar la ejecución. La capacitación del cuerpo técnico y de los atletas se organiza según el plan de capacitación (ver Anexo N).

Cuadro 15
Ruta de Implementación del Modelo Educativo-Tecnológico

Fase	Actividad	Producto	Responsables
1	Preparación ética y formativa: consentimiento informado (o consentimiento del representante y asentimiento del menor), protocolo de datos y capacitación inicial	Formatos firmados, protocolo de datos y registro de capacitación	Cuerpo técnico y responsable de datos
2	Línea base individual: video en 2D de gestos habituales, frecuencia cardíaca en reposo y primeros autorreportes; registro de la clase funcional y del dispositivo asistivo	Línea base de cada atleta	Cuerpo técnico, atleta y profesional de apoyo
3	Registro rutinario: autorreporte con escalas de 1 a 5, frecuencia cardíaca y fatiga localizada tras sesiones de alta demanda, y video periódico	Bitácoras y registros de seguimiento	Atleta y cuerpo técnico
4	Lectura de alertas y decisión: aplicación de las reglas preventivas y de la "alerta roja"; ajuste de la carga, la técnica o la recuperación	Matriz de alertas y decisiones	Cuerpo técnico, con participación del atleta
5	Revisión y mejora: análisis conjunto de las decisiones tomadas, ajuste de los umbrales individuales y de los formatos	Informe de revisión	Cuerpo técnico, atleta y responsable de datos

Fuente: EL AUTOR. (2025).

Recursos y factibilidad

Los recursos materiales del modelo son de bajo costo: cámaras convencionales o dispositivos móviles, sensores comerciales de frecuencia cardíaca y formularios impresos o digitales. Los recursos humanos corresponden al cuerpo técnico existente, a profesionales de apoyo cuando estén disponibles y a los propios

atletas; el modelo no exige analistas biomecánicos permanentes, pero sí una persona responsable del resguardo de los datos. La factibilidad se evaluará en cada programa con criterios técnicos, éticos y organizativos, y una actividad que no cumpla las condiciones mínimas de privacidad, seguridad o capacidad institucional deberá ajustarse antes de ejecutarse.

Control y evaluación

El Cuadro 16 define indicadores de seguimiento del modelo. No se fijan metas cuantitativas de manera anticipada: deben establecerse con cada programa a partir de su línea base y quedar aprobadas antes de la ejecución. El tablero de indicadores (ver Anexo O) permite registrar la línea base, la meta acordada y el resultado de cada periodo. La evaluación debe documentar tanto el cumplimiento como la utilidad percibida: cuando un indicador no muestre mejora o genere cargas desproporcionadas al atleta, el componente correspondiente se revisará antes de ampliar su aplicación.

Cuadro 16
Indicadores de Control y Evaluación del Modelo

Código	Componente o eje	Indicador	Evidencia	Frecuencia
I1	Autorreporte	Proporción de sesiones con autorreporte registrado por el atleta	Bitácoras de autorreporte	Semanal
I2	Seguimiento fisiológico	Proporción de sesiones de alta demanda con registro de frecuencia cardíaca y de fatiga localizada	Registro de seguimiento fisiológico	Semanal
I3	Monitoreo técnico	Videos analizados por atleta en el periodo, con observaciones sobre asimetrías y compensaciones	Fichas de observación técnica	Mensual
I4	Alertas y decisiones	Alertas generadas y decisiones del cuerpo técnico documentadas para cada una	Matriz de alertas y decisiones	Mensual
I5	Continuidad deportiva	Interrupciones del entrenamiento por molestia o lesión, con su duración, en relación con la línea base del atleta	Registro de asistencia y de molestias	Mensual
I6	Eje pedagógico	Integrantes del cuerpo técnico y atletas que completaron la capacitación en lectura de alertas	Registro de capacitación	Por ciclo
I7	Eje ético	Atletas con consentimiento (o consentimiento y asentimiento) vigente y registros que cumplen el protocolo de datos	Formatos firmados y bitácora de acceso a datos	Por ciclo

Código	Componente o eje	Indicador	Evidencia	Frecuencia
I8	Aceptación del modelo	Utilidad y confianza percibidas por los atletas y el cuerpo técnico	Cuestionario breve de percepción	Semestral

Fuente: EL AUTOR. (2025).

En la encuesta, los participantes se pronunciaron sobre la aplicabilidad del modelo y sobre las dimensiones de la variable 2 que lo sustentan. En los ítems de aplicabilidad, la mayoría afirmó que un sistema que combine análisis de movimiento, monitoreo fisiológico básico y autorreporte del atleta podría implementarse en el contexto sudamericano, incluso en ausencia de laboratorios costosos. Aunque las respuestas muestran cierta cautela, pues reconocen barreras materiales y de formación, dejan ver que la IA no se percibe como algo inalcanzable o exclusivo de potencias deportivas, sino como una herramienta que podría adaptarse a entornos con recursos limitados, siempre que exista una mediación pedagógica adecuada. El Cuadro 17 resume estos resultados.

Cuadro 17
Resultados de la Encuesta sobre la Prevención de Lesiones y la Aplicabilidad del Modelo

Dimensión	Ítems	Resultado descrito	Acuerdo y total acuerdo (%)
6. Factores de riesgo funcionales y de carga	Entre P20 y P31	[Resultado descrito de la dimensión]	[dato]
7. Vigilancia y control preventivo	Entre P20 y P31	[Resultado descrito de la dimensión]	[dato]
8. Continuidad deportiva y salud del atleta	Entre P20 y P31	[Resultado descrito de la dimensión]	[dato]
10. Impacto del modelo educativo-tecnológico propuesto	P32 a P34	La mayoría afirmó que un sistema que combine análisis de movimiento, monitoreo fisiológico básico y autorreporte podría implementarse en Sudamérica sin laboratorios costosos, con cautela por barreras materiales y de formación.	[dato]

Fuente: EL AUTOR. (2025), a partir de la encuesta aplicada.

Análisis General de los Resultados

Los resultados permitieron caracterizar la percepción y la disposición de futuros profesionales de la Educación Física frente al uso de herramientas basadas en IA para el monitoreo del entrenamiento y la prevención temprana de lesiones en el atletismo paralímpico sudamericano. En esta sección se discuten los hallazgos en relación con las preguntas de investigación, articulando la evidencia de la encuesta con la del análisis documental.

Los datos revelaron una aceptación amplia de la IA no solo como instrumento de optimización del rendimiento, sino como recurso preventivo. En los ítems vinculados al análisis biomecánico asistido por IA, la mayoría de los encuestados manifestó acuerdo con la incorporación de estas prácticas en el entrenamiento. Este hallazgo se relaciona con las preguntas primera y segunda: la revisión documental muestra avances en el análisis biomecánico asistido por IA y su relevancia para el deporte paralímpico (Fletcher et al., 2021; Qazi & Iqbal, 2024), y la encuesta indica que los futuros profesionales reconocen que observar y analizar el movimiento mediante registros de video y procesamiento automatizado no constituye un lujo tecnológico, sino una vía temprana de protección articular y funcional. En el atletismo adaptado, gran parte de las lesiones no obedece a eventos agudos aislados, sino a procesos acumulativos vinculados al sobreuso y a compensaciones mecánicas sostenidas, como la sobrecarga crónica del hombro en atletas de silla de ruedas, la irritación recurrente del muñón en corredores amputados o el estrés lumbar asociado a gestos repetitivos de empuje. Que los participantes reconozcan la utilidad del análisis técnico automatizado indica que comprenden la lógica preventiva como una intervención anticipatoria sobre el gesto, y respalda la pertinencia del primer componente del modelo: el monitoreo técnico accesible.

Los resultados muestran también que los encuestados otorgan valor al seguimiento fisiológico y al control de la carga interna como criterio para la toma de decisiones. La mayoría coincidió en que la frecuencia cardíaca, la fatiga acumulada y la capacidad de recuperación deben orientar los ajustes de planificación. Este resultado dialoga con la literatura sobre la posibilidad de anticipar el riesgo de lesión

a partir de indicadores de carga y fatiga (Mishra et al., 2024; Rebelo et al., 2023; Zou, 2025) y cuestiona un paradigma tradicional de la preparación física, basado en la aplicación homogénea de cargas, que en el atletismo paralímpico puede resultar nociva porque la tolerancia a la carga varía según el tipo de discapacidad, la historia lesional y el segmento corporal que soporta la mayor demanda mecánica. Esto respalda la viabilidad del segundo componente del modelo: el seguimiento fisiológico básico como sistema de alerta temprana.

Los participantes consideran, además, al propio deportista una fuente primaria y legítima de información preventiva. Los ítems sobre autorreporte (dolor localizado, fatiga percibida, calidad del sueño y molestias asociadas al uso de prótesis, encajes, empuñaduras o silla deportiva) obtuvieron niveles elevados de acuerdo respecto de su relevancia. Este punto se vincula con la quinta pregunta, referida al diseño del modelo, pues indica que las fuentes críticas de información preventiva no se reducen a sensores ni a observación técnica externa, sino que incluyen la percepción del atleta. Manifestaciones tempranas como la irritación de muñón, la presión dolorosa en el encaje protésico, la sensación de quemazón en la muñeca tras empujes repetidos o la fatiga unilateral del hombro dominante suelen ser los únicos indicadores disponibles antes de una lesión incapacitante. Que los futuros profesionales validen el autorreporte como insumo prioritario sugiere que están dispuestos a incorporar la voz del atleta en la gestión cotidiana de la carga, lo que respalda el tercer componente del modelo. La experiencia internacional invita, sin embargo, a cuidar su diseño: el reporte debe ser breve y devolver información al atleta para no percibirse como una carga (Coventry et al., 2023).

En relación con la tercera pregunta, los datos formativos (34 de 80 estudiantes con formación en deporte adaptado o paralímpico y 36 de 80 con formación en IA aplicada al deporte) confirman la brecha formativa descrita en el análisis de barreras: la aceptación de la IA convive con una exposición todavía limitada a su uso. Esta combinación de apertura y formación incompleta sustenta el eje pedagógico del modelo.

Un elemento crítico es la dimensión ética y formativa. La mayoría de los encuestados manifestó acuerdo en torno a tres afirmaciones: la necesidad de capacitar a entrenadores y atletas para interpretar los indicadores derivados de IA, la obligación de resguardar la confidencialidad de los datos fisiológicos y biomecánicos y la importancia de evitar su uso como criterio de exclusión competitiva. Esto responde a la cuarta pregunta de investigación y aborda una tensión central en la aplicación de la IA al deporte paralímpico: si la tecnología se utilizará para proteger trayectorias deportivas o para justificar la exclusión de quienes sean considerados de alto riesgo. La respuesta de la muestra se alinea con una ética protectora y formativa, coherente con los principios de equidad y consentimiento revisados (Beauchamp & Childress, 2019; Bitomsky et al., 2025; McNamee et al., 2021).

Finalmente, los resultados sobre la aplicabilidad del modelo en el contexto sudamericano evidencian que los encuestados perciben viable la implementación de un sistema de prevención temprana de lesiones basado en tres insumos de bajo costo: análisis técnico mediante video, monitoreo fisiológico básico y autorreporte estructurado del deportista. Consideraron factible integrar estos elementos en entornos reales de entrenamiento, como pistas, gimnasios universitarios y microciclos de preparación, sin infraestructura de laboratorio avanzada. Este punto conecta las percepciones con la equidad regional: si es técnica y pedagógicamente posible aplicar este enfoque con recursos accesibles, la prevención temprana de lesiones deja de ser un privilegio reservado a las selecciones nacionales con apoyo médico permanente y puede convertirse en una práctica replicable en etapas formativas y precompetitivas. Dado que las percepciones provienen de estudiantes y no de atletas, esta factibilidad debe confirmarse en estudios de implementación.

En conjunto, los resultados respaldan la construcción de un modelo educativo-tecnológico de prevención temprana de lesiones en el atletismo paralímpico sudamericano, articulado sobre tres pilares operativos (monitoreo técnico accesible, seguimiento fisiológico básico y autorreporte sistemático del atleta) y sobre dos ejes transversales (interpretación pedagógica de la información y resguardo ético de los datos del deportista). Los datos no se limitan a describir una actitud favorable hacia la

IA: muestran la existencia de condiciones formativas, éticas y operativas para una adopción responsable. Esto sugiere que la IA, entendida no como una tecnología excluyente sino como una herramienta educativa y preventiva, puede constituir una estrategia de salud y sostenibilidad deportiva en la región.

Evidencia del Logro de los Objetivos

Objetivo específico 1. Se alcanzó. Se identificó y analizó la evidencia científica, técnica y normativa sobre el uso de la IA en el monitoreo del entrenamiento y la prevención de lesiones, y su relevancia para el atletismo paralímpico (Cuadro 7), y se recogió la valoración de los participantes sobre los componentes de la IA (Cuadro 8).

Objetivo específico 2. Se alcanzó. Se examinaron las barreras tecnológicas, estructurales, formativas y éticas del contexto sudamericano (Cuadro 9), con apoyo de los resultados de la encuesta sobre formación y ética (Cuadros 5, 6 y 10).

Objetivo específico 3. Se alcanzó. Se propuso el modelo conceptual educativo-tecnológico, con tres componentes, dos ejes transversales, una ruta de implementación e indicadores de control (Cuadros 11 a 14, Gráfico 5 y Cuadro 16); la aplicabilidad percibida se recoge en el Cuadro 17.

Objetivo general. Se alcanzó en lo que corresponde a un estudio documental y descriptivo: se analizó y sintetizó la evidencia disponible y se propuso un modelo accesible para optimizar el entrenamiento y prevenir lesiones. Este alcance es conceptual: el estudio no evaluó el efecto del modelo sobre las lesiones de atletas ni midió su eficacia. Respecto de la interrogante de investigación, la evidencia documental y las percepciones recogidas indican que es posible estructurar un modelo educativo-tecnológico, ética y técnicamente viable, que combine monitoreo técnico, seguimiento fisiológico básico y autorreporte, con mediación pedagógica y resguardo ético de los datos. Como el estudio no formuló hipótesis, no corresponde confirmarlas o refutarlas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El estudio analizó la evidencia sobre la IA en el monitoreo del entrenamiento y la prevención de lesiones, examinó las barreras del contexto sudamericano y propuso un modelo educativo-tecnológico para el atletismo paralímpico. A partir del análisis documental y de las percepciones de 80 estudiantes de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte, se obtuvieron las siguientes conclusiones, que responden a los objetivos planteados y a la interrogante de investigación.

La IA es una herramienta viable y pertinente para la prevención temprana de lesiones en el atletismo paralímpico sudamericano. No debe ser entendida únicamente como tecnología de alto rendimiento, sino como un recurso de protección de la salud del deportista. El uso de IA en el análisis técnico, el seguimiento fisiológico y la identificación temprana de señales de sobrecarga permite anticipar riesgos antes de que se produzcan lesiones incapacitantes, especialmente en atletas con demandas biomecánicas particulares. Esta conclusión se apoya principalmente en la evidencia documental y en la valoración de los participantes, no en una evaluación con atletas.

Existen barreras tecnológicas, estructurales, formativas y éticas que condicionan su adopción. Entre ellas destacan el acceso desigual a infraestructura y la falta de interoperabilidad, el limitado soporte médico-deportivo, la prioridad competitiva sobre la preventiva, la brecha formativa (el 42,5 % de los estudiantes declaró formación en deporte adaptado y el 45 % en IA aplicada al deporte) y los riesgos de uso indebido de datos sensibles y de uso excluyente de las alertas.

El modelo preventivo propuesto es, según el análisis documental y la percepción de los participantes, factible en contextos con recursos limitados. Los futuros profesionales en Educación Física consideran viable trabajar con tres insumos

accesibles: (a) monitoreo técnico mediante video y análisis asistido, (b) seguimiento fisiológico básico con mediciones simples y (c) autorreporte sistemático del propio atleta. Este esquema no requiere laboratorios sofisticados, sino organización metodológica y lectura pedagógica de la información, lo cual es relevante para el contexto sudamericano, donde las limitaciones de infraestructura son una barrera estructural frecuente.

La prevención de lesiones es una responsabilidad pedagógica, no solo médica. Los encuestados expresaron acuerdo con la necesidad de interpretar indicadores de fatiga, dolor y sobrecarga para ajustar la carga de entrenamiento de manera individualizada. Esto implica una ruptura con el paradigma de "la misma carga para todos" y sitúa la prevención como una práctica cotidiana del entrenador, docente o preparador físico. Se concluye que la figura del profesional de la Educación Física adquiere un rol preventivo directo, especialmente en etapas formativas.

El autorreporte del atleta es una pieza crítica del sistema preventivo. La voz del deportista (su percepción de dolor localizado, fatiga unilateral, molestias asociadas a prótesis o silla y calidad del sueño) debe incorporarse como insumo formal de decisión. En el atletismo paralímpico, muchas molestias iniciales no son visibles externamente, pero sí detectables por el propio deportista; ignorar esa información implica perder la señal temprana que permitiría intervenir antes de la lesión.

La adopción de IA exige una base ética explícita. Los participantes afirmaron que los datos fisiológicos y biomecánicos del atleta deben manejarse con confidencialidad y que la IA no debe utilizarse para excluir o descartar deportistas considerados de alto riesgo. Cualquier implementación tecnológica debe estar acompañada de lineamientos éticos claros: consentimiento informado (y, en menores de edad, consentimiento del representante y asentimiento del atleta), uso formativo y finalidad protectora. Sin estos principios, la IA corre el riesgo de transformarse en una herramienta de control punitivo en lugar de una herramienta de apoyo.

Existe una oportunidad estratégica para democratizar la prevención de lesiones en el deporte paralímpico. Dado que el modelo conceptual se basa en

herramientas accesibles y en una mediación educativa, su aplicación podría reducir brechas entre las estructuras de élite y los contextos con menor soporte institucional. La IA bien diseñada y éticamente orientada puede actuar como un mecanismo de equidad deportiva, al ofrecer vigilancia temprana del riesgo lesional incluso en equipos sin acompañamiento médico especializado permanente. Por tratarse de un modelo conceptual y de una encuesta a estudiantes, estas conclusiones son propositivas y no pueden generalizarse como evidencia de eficacia.

Recomendaciones

A las instituciones formativas

a) Incorporar, en la formación de los profesionales de la actividad física, contenidos sobre prevención de lesiones específicos por tipo de discapacidad y sobre lectura crítica de indicadores generados con IA, dado que una parte importante de los estudiantes no ha recibido esa formación.
b) Incluir en los planes de estudio la dimensión ética del uso de datos de atletas con discapacidad: consentimiento informado, confidencialidad y finalidad protectora.

Al cuerpo técnico y a las organizaciones deportivas paralímpicas

a) Explorar la aplicación gradual del modelo (monitoreo técnico accesible, seguimiento fisiológico básico y autorreporte), siguiendo la ruta de implementación propuesta y definiendo con cada programa las metas de los indicadores a partir de su línea base.
b) Establecer un protocolo de datos y designar a un responsable de su resguardo, y prohibir expresamente el uso de las alertas de riesgo como criterio de selección o exclusión.
c) Obtener el consentimiento informado de los atletas y, cuando sean menores de edad, el consentimiento de su representante y el asentimiento del propio atleta.

A futuras investigaciones

a) Futuras investigaciones deberían implementar el modelo educativo-tecnológico propuesto (monitoreo técnico accesible + seguimiento

fisiológico básico + autorreporte del atleta) en contextos reales de entrenamiento paralímpico y evaluar su efecto sobre la incidencia de lesiones, la continuidad de la preparación y la percepción de carga del atleta a lo largo de un ciclo competitivo.

b) Se recomienda desarrollar estudios específicos por subgrupos (por ejemplo, atletas usuarios de silla de ruedas, atletas amputados con prótesis de miembro inferior, atletas con parálisis cerebral con alteraciones de tono). Las demandas biomecánicas y los patrones de sobreuso no son homogéneos y es probable que los indicadores de alerta temprana (dolor, fatiga localizada, alteración técnica) varíen entre subpoblaciones.
c) Una línea futura clave es la definición de umbrales individualizados de alerta (por ejemplo, “cuánto aumento en frecuencia cardíaca submáxima, combinado con qué autorreporte de dolor, predice lesión en 2-3 semanas”). Esto implica desarrollar modelos predictivos adaptados al atleta paralímpico, y no extrapolados directamente desde poblaciones convencionales.
d) Se sugiere investigar cuánto tiempo se mantiene el uso real de estos mecanismos (video, fisiología básica, autorreporte) en condiciones no controladas. Es decir, ¿los entrenadores y atletas mantienen el registro diario o semanal en el mediano plazo?, ¿qué barreras prácticas aparecen?, ¿cuándo se abandona el protocolo y por qué? Esto permitiría ajustar el modelo para que sea sostenible y no solo correcto en teoría.
e) Futuros trabajos deberían recoger la voz directa del deportista paralímpico: cómo percibe el monitoreo, si lo interpreta como apoyo o vigilancia, si teme que sus datos se utilicen para limitar su participación competitiva y qué condiciones considera indispensables para confiar en el sistema. Esta dimensión es crítica, porque el modelo propuesto se declara formativo y protector, pero su legitimidad final depende de la aceptación del atleta.

f) Sería pertinente estudiar cómo este modelo puede articularse con los sistemas actuales de clasificación funcional, medicina deportiva universitaria, planes de entrenamiento de selecciones nacionales paralímpicas y programas juveniles de captación de talento. Esta línea de investigación ayudaría a transformar el modelo de una propuesta académica en un protocolo aplicable a nivel federativo.

g) Se recomienda investigar y eventualmente desarrollar aplicaciones o paneles interpretativos de bajo costo, en español, pensados para entrenadores y atletas paralímpicos de la región. Estas herramientas deberían priorizar simplicidad operativa, claridad visual y reportes éticamente responsables antes que sofisticación técnica difícil de implementar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, D., Couceiro, M., Seifert, L., Sarmento, H., & Davids, K. (2021). *Artificial intelligence in sport performance analysis*. Routledge.

Asamblea Nacional del Ecuador. (2021). *Ley Orgánica de Protección de Datos Personales*. Registro Oficial Suplemento 459.

Asare, F. (2024). *Disability and assistive technology advancements in disability sport: Understanding the embodied experiences of disabled athletes* [Tesis doctoral, The University of Waikato].

Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.

Beauchamp, T. L., & Childress, J. F. (2019). *Principles of biomedical ethics* (8.ª ed.). Oxford University Press.

Bhatia, M. (2021). Intelligent system of game-theory-based decision making in smart sports industry. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 12*(3), 1-23.

Bitomsky, L., Nißen, M., & Kowatsch, T. (2025). Equity by design principles for digital health interventions. *International Journal for Equity in Health, 24*(1), 271.

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal, 9*(2), 27-40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77-101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Coventry, T., Timler, A., Mosler, A., Russell, K., Travers, M., Mitchell, L., & Murphy, M. (2023). "I lied a little bit." A qualitative study exploring the perspectives of elite Australian athletes on self-reported data. *Physical Therapy in Sport, 60*, 91-97. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2023.01.009

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3.ª ed.). SAGE.

Fletcher, J. R., Gallinger, T., & Prince, F. (2021). How can biomechanics improve physical preparation and performance in paralympic athletes? A narrative review. *Sports, 9*(7), Artículo 89. https://doi.org/10.3390/sports9070089

Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine, 50*(5), 273-280.

Galmarini, C. M., & Lucius, M. (2020). Artificial intelligence: A disruptive tool for a smarter medicine. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences, 24*(13).

Goossens, L., Cardon, G., Witvrouw, E., Steyaert, A., & De Clercq, D. (2016). A multifactorial injury prevention intervention reduces injury incidence in physical education teacher education students. *European Journal of Sport Science, 16*(3), 365-373.

Harrington, S. E., McQueeney, S., & Fearing, M. (2021). Understanding injury and injury prevention in para sport athletes. *Journal of Sport Rehabilitation, 30*(7), 1053-1059. https://doi.org/10.1123/jsr.2020-0477

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.

Howe, P. D., & Silva, C. F. (2017). The cyborgification of paralympic sport. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité, 97*, 17-25. https://doi.org/10.1051/sm/2017014

Impellizzeri, F. M., Tenan, M. S., Kempton, T., Novak, A., & Coutts, A. J. (2020). Acute:chronic workload ratio: Conceptual issues and fundamental pitfalls. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 15*(6), 907-913. https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0864

Kalkhoven, J. T., Watsford, M. L., Coutts, A. J., Edwards, W. B., & Impellizzeri, F. M. (2021). Training load and injury: Causal pathways and future directions. *Sports Medicine, 51*(6), 1137-1150.

McNamee, M., Parnell, R., & Vanlandewijck, Y. (2021). Fairness, technology and the ethics of Paralympic sport classification. *European Journal of Sport Science, 21*(11). https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1961022

Meeuwisse, W. H., Tyreman, H., Hagel, B., & Emery, C. (2007). A dynamic model of etiology in sport injury: The recursive nature of risk and causation. *Clinical Journal of Sport Medicine, 17*(3), 215-219.

Mishra, N., Habal, B. G. M., Garcia, P. S., & Garcia, M. B. (2024). Harnessing an AI-driven analytics model to optimize training and treatment in physical education for sports injury prevention. *Proceedings of the 2024 8th International Conference on Education and Multimedia Technology*, 309-315. https://doi.org/10.1145/3678726.3678740

Moreno-Villanueva, A., Rico-González, M., & Pino-Ortega, J. (2022). Monitoring of internal and external loads to interpret acute and chronic fatigue in indoor team sports: A systematic review. *International Journal of Sports Science & Coaching, 17*(6), 1531-1552. https://doi.org/10.1177/17479541221096396

Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (A/RES/70/1). Asamblea General de las Naciones Unidas.

Novatchkov, H., & Baca, A. (2013). Artificial intelligence in sports on the example of weight training. *Journal of Sports Science and Medicine, 12*(1), 27-37.

Qazi, A., & Iqbal, A. (2024). ExerAIde: AI-assisted multimodal diagnosis for enhanced sports performance and personalised rehabilitation. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 3430-3438.

Rebelo, A., Martinho, D. V., Valente-dos-Santos, J., Coelho-e-Silva, M. J., & Teixeira, D. S. (2023). From data to action: A scoping review of wearable technologies and biomechanical assessments informing injury prevention strategies in sport. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 15*, 169. https://doi.org/10.1186/s13102-023-00783-4

Rosa, J. P. P. (2025). The potential role of artificial intelligence to promote the participation and inclusion in physical exercise and sports for people with disabilities: A narrative review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies, 42*, 127-131. https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2024.12.024

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Wei, S., Huang, P., Li, R., Liu, Z., & Zou, Y. (2021). Exploring the application of artificial intelligence in sports training: A case study approach. *Complexity, 2021*, Artículo 4658937.

Zou, R. (2025). Exploring the role of artificial intelligence in sports injury prevention and rehabilitation. *Scalable Computing: Practice and Experience, 26*(1), 316-325. https://doi.org/10.12694/scpe.v26i1.3544

ANEXOS

ANEXO A

MATRIZ DE COHERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo específico	Preguntas asociadas	Variable y dimensiones	Técnica e instrumento	Producto
1. Identificar y analizar la evidencia científica, técnica y normativa sobre el uso de la IA en el monitoreo y la prevención de lesiones.	1 y 2	Variable 1, dimensiones 1 a 5	Revisión documental (matriz de análisis documental); encuesta (ítems P5 a P19)	Cuadros de evidencia y de resultados del Capítulo IV
2. Examinar las barreras del contexto sudamericano que limitan la adopción de herramientas de IA.	3 y 4	Variable 2, dimensiones 6 a 9	Revisión documental; encuesta (dimensiones 5 y 9 y datos generales)	Cuadros de barreras y de resultados del Capítulo IV
3. Proponer un modelo educativo-tecnológico accesible.	5	Variables 1 y 2; dimensiones 6, 7, 8 y 10	Síntesis de la revisión documental; encuesta (ítems P32 a P34)	Modelo conceptual, ruta e indicadores del Capítulo IV

La matriz muestra la correspondencia entre el problema, los objetivos, las variables y los procedimientos de recolección, con el fin de verificar que cada objetivo cuente con evidencia en el Capítulo IV.

ANEXO B

PROTOCOLO DE GESTIÓN, CODIFICACIÓN Y RESGUARDO DE DATOS

Minimización de datos. En la encuesta no se solicitan nombres, cédulas, correos ni otros identificadores; solo género, semestre y formación previa. La participación es anónima.

Revisión documental. Las fuentes se registran en la matriz de análisis documental con su referencia completa, de manera que cada dato pueda rastrearse hasta su origen.

Custodia de las respuestas. Las respuestas se almacenan en un archivo protegido, con acceso restringido al investigador y, durante la revisión, a la tutora. Se reportan únicamente frecuencias y porcentajes agregados.

Uso futuro del modelo con atletas. Cuando el modelo se aplique con atletas, los datos de video, frecuencia cardíaca y autorreporte se identificarán con un código; la clave que vincule códigos con identidades se guardará por separado, y el acceso se limitará al cuerpo técnico autorizado y al propio atleta.

Menores de edad. Si participan atletas menores de edad, se requiere el consentimiento de su representante y el asentimiento del menor; el uso de su imagen o su voz requiere una autorización expresa y separada.

Finalidad. Los datos se utilizan únicamente con fines preventivos y formativos. No se emplean para seleccionar, excluir ni sancionar al atleta.

Conservación y eliminación. Concluido el proceso académico, se conservan solo los documentos que exija la institución y se eliminan los archivos auxiliares que contengan información personal.

ANEXO C

MATRIZ DE ANTECEDENTES INCORPORADOS EN LA REVISIÓN

Autor y año	Propósito	Método	Conclusión relevante	Aporte a esta investigación
Mishra et al. (2024)	Revisar el uso de la IA en la prevención de lesiones deportivas	Revisión de la literatura	La IA permite analizar datos de carga y de movimiento para estimar el riesgo de lesión	Fundamenta la variable 1 y la integración predictiva del riesgo
Zou (2025)	Describir aplicaciones de la IA en el entrenamiento y la prevención de lesiones	Revisión de la literatura	La IA reconoce patrones en grandes volúmenes de datos del deportista	Sustenta la definición conceptual de la variable 1
Rebelo et al. (2023)	Analizar la prevención de lesiones y la gestión de la carga	Revisión de la literatura	La carga de entrenamiento debe monitorearse de forma individualizada	Respalda el seguimiento fisiológico y el autorreporte
Fletcher et al. (2021)	Examinar el deporte paralímpico y las lesiones	Revisión de la literatura	Las lesiones dependen de la clase funcional y del tipo de deporte	Respalda la adaptación del modelo a cada atleta
Rosa et al. (2025)	Revisar el uso de tecnologías en el deporte adaptado	Revisión de la literatura	Existen barreras de acceso y de formación para su adopción	Sustenta el análisis de barreras del objetivo 2
Coventry et al. (2023)	Analizar el uso de datos y tecnología en el deporte	Revisión de la literatura	El uso de datos plantea exigencias éticas y de protección de la información	Fundamenta el eje ético del modelo

La matriz resume los antecedentes recientes incorporados en el Capítulo II. El detalle de cada estudio y su relación con el tema se presenta en ese capítulo; la tabla sintetiza los puntos que se utilizaron para construir el modelo propuesto.

ANEXO D

CUESTIONARIO ESTRUCTURADO PARA ESTUDIANTES DE PEDAGOGÍA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

Cuestionario estructurado aplicado en formato digital a los estudiantes de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte. La participación es voluntaria y anónima. Su carácter es descriptivo y formativo, no diagnóstico. La distribución de los ítems P20 a P31 entre las dimensiones 6 a 9 corresponde a la operacionalización del Cuadro 2.

Parte I. Datos generales

Pregunta	Opciones
P1. Género	Femenino / Masculino
P2. Semestre que cursa	Primero a séptimo semestre
P3. ¿Ha recibido formación en deporte adaptado o paralímpico?	Sí / No
P4. ¿Ha recibido formación en inteligencia artificial aplicada al deporte?	Sí / No

Parte II. Ítems de valoración por dimensión

Cada ítem es un enunciado sobre el cual el participante indica su grado de acuerdo. Los enunciados textuales y la escala de respuesta se transcriben del instrumento aplicado: [enunciados de los ítems P5 a P34 y escala de respuesta del cuestionario].

Dimensión	Ítems	Aspectos que valoran los enunciados
1. Monitoreo biomecánico asistido por IA	P5 a P7	Análisis de técnica mediante video; detección de asimetrías y compensaciones
2. Monitoreo fisiológico y de carga interna	P8 a P10	Frecuencia cardíaca; variabilidad de la frecuencia cardíaca; fatiga acumulada y recuperación
3. Autorreporte y retroalimentación del atleta	P11 a P13	Dolor localizado; percepción del esfuerzo; calidad del sueño
4. Integración predictiva de riesgo mediante IA	P14 a P16	Alertas tempranas; estimación del riesgo de lesión; ajuste de carga
5. Componente educativo y ético en el uso de IA	P17 a P19	Capacitación del cuerpo técnico y de los atletas; uso responsable de los datos; equidad
6 a 9. Dimensiones de la variable 2	P20 a P31	Factores de riesgo funcionales y de carga; vigilancia y control preventivo; continuidad deportiva y salud del atleta; cultura preventiva y formación técnica

Dimensión	Ítems	Aspectos que valoran los enunciados
10. Impacto del modelo educativo-tecnológico propuesto	P32 a P34	Utilidad percibida del sistema; posibilidad de aplicación regional

ANEXO E

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPANTES EN LA ENCUESTA

Se invita a participar voluntariamente en una encuesta vinculada con el Trabajo Especial de Grado titulado *Inteligencia Artificial aplicada en el deporte paralímpico: herramientas para mejorar el entrenamiento y la prevención de lesiones en el atletismo sudamericano*. El propósito es conocer los conocimientos, las percepciones y las actitudes de los estudiantes de Pedagogía de la Actividad Física y Deporte frente al uso de la IA en la prevención de lesiones.

La encuesta es anónima: no se solicitan nombres ni otros datos que permitan identificar a quien responde. Las respuestas se usarán únicamente con fines académicos y se presentarán de forma agregada. Participar es voluntario y la persona puede abandonar el cuestionario en cualquier momento, sin consecuencia alguna.

Declaro que he leído la información anterior, he podido realizar preguntas y acepto participar de forma voluntaria.

Acepto participar: Sí [ ] No [ ]

Fecha: _____

ANEXO F
MATRIZ DE ANÁLISIS DOCUMENTAL

Formato utilizado para registrar cada fuente analizada. Se completa una fila por documento.

N.º	Autor y año	Tipo de estudio y contexto	Variables o dimensiones	Resultados principales	Limitaciones	Aporte al modelo
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Los criterios de inclusión y exclusión aplicados a las fuentes se describen en el Capítulo III.

ANEXO G

FICHA DE VALIDACIÓN DE CONTENIDO POR JUICIO DE EXPERTOS

Esta ficha documenta la revisión de la claridad, la pertinencia, la coherencia y la suficiencia de los ítems del cuestionario. Las fichas firmadas por un número impar de expertos, con un mínimo de tres, de acuerdo con las Normas UNICAL, se conservan en el expediente del estudiante.

Datos del experto	Información
Nombres y apellidos	
Profesión / grado académico	
Área de experiencia	
Institución	
Fecha de revisión	

Escala: 1 = requiere reformulación; 2 = requiere ajustes; 3 = adecuado; 4 = muy adecuado.

Criterio	1	2	3	4	Observación
Correspondencia con los objetivos					
Pertinencia de los ítems con las dimensiones					
Claridad de redacción					
Coherencia interna					
Adecuación a los participantes					
Suficiencia para cubrir las dimensiones					
Escala de respuesta					

Dictamen general:

_____

Firma del experto: _____

ANEXO H

FORMATO DE AUTORREPORTE DEL ATLETA

Formato de uso diario o por sesión, completado por el propio atleta. Las escalas van de 1 a 5, donde 1 es el valor más favorable (sin dolor, sin fatiga, recuperación completa) y 5 el más desfavorable.

Variable	1	2	3	4	5
Dolor general					
Fatiga general percibida					
Calidad del sueño (1 = muy buena, 5 = muy mala)					
Recuperación respecto de la sesión anterior (1 = completa, 5 = nula)					
Molestia asociada a la prótesis, encaje, empuñadura o silla					

Zona con dolor o molestia	Marcar	Intensidad (1 a 5)	Observación
Hombro			
Codo			
Muñeca o mano			
Zona lumbar			
Cadera			
Rodilla			
Tobillo o pie			
Muñón u otra zona			

Fecha: _____ Sesión: _____ Código del atleta: _____

ANEXO I

REGISTRO DE SEGUIMIENTO FISIOLÓGICO BÁSICO

Registro de seguimiento fisiológico básico, con sensores comerciales de frecuencia cardíaca o toma manual del pulso. Se completa una fila por sesión.

Fecha	FC en reposo	FC durante la carga específica	FC de recuperación	Fatiga localizada (1 a 5)	Zona de fatiga	Observación

La interpretación se basa en la tendencia individual del atleta a lo largo del tiempo y no en comparaciones con otros atletas.

ANEXO J
FICHA DE OBSERVACIÓN TÉCNICA POR VIDEO

Ficha para registrar la observación de videos en 2D del gesto técnico. Se utiliza una cámara convencional o un dispositivo móvil en una posición fija y se repite el mismo encuadre en cada registro.

Dato	Registro
Código del atleta	
Fecha	
Gesto o prueba observada	
Clase funcional y dispositivo asistivo utilizado	
Posición de la cámara y encuadre	

Observaciones

Aspecto observado	Presente	Ausente	Zona o fase del gesto	Observación
Asimetría entre lados del cuerpo				
Compensación técnica				
Alteración respecto de la línea base				
Cambio asociado a la fatiga				
Posición inadecuada de la silla, prótesis o implemento				

Decisión o ajuste propuesto:

_____

ANEXO K

MATRIZ DE ALERTAS Y DECISIONES PREVENTIVAS

La matriz traduce las señales de riesgo en decisiones preventivas. Los niveles son orientativos: no confirman una lesión y deben ajustarse a la línea base individual de cada atleta y a la valoración de un profesional de la salud cuando corresponda.

Nivel	Señales combinadas	Decisión preventiva	Responsable
Verde	Autorreporte sin dolor ni fatiga relevantes; recuperación adecuada; técnica estable	Continuar el plan previsto	Cuerpo técnico
Amarillo	Una sola señal alterada: dolor localizado ocasional, fatiga localizada o cambio técnico aislado	Observar la siguiente sesión; reducir el volumen de repeticiones o la intensidad del empuje; confirmar con el atleta	Cuerpo técnico y atleta
Naranja	Dos señales alteradas, por ejemplo recuperación deteriorada y dolor localizado	Modificar el tipo de estímulo (técnico y controlado); introducir descarga activa; revisar la técnica y el dispositivo asistivo	Cuerpo técnico con participación del atleta
Rojo	Dolor localizado repetido en una articulación, alteración técnica observada en video y signos fisiológicos de fatiga	Intervención inmediata: suspender el estímulo de alta exigencia y derivar a un profesional de la salud	Cuerpo técnico y profesional de apoyo

Las alertas no se usan como criterio de selección negativa del atleta; su finalidad es activar apoyo y ajuste de la carga.

ANEXO L

CONSENTIMIENTO INFORMADO DEL ATLETA ADULTO PARA EL USO DE SUS DATOS

Se invita al atleta a participar en un programa que utiliza la observación técnica por video, el seguimiento fisiológico básico y el autorreporte para prevenir lesiones, de acuerdo con el modelo educativo-tecnológico propuesto en el Trabajo Especial de Grado titulado *Inteligencia Artificial aplicada en el deporte paralímpico: herramientas para mejorar el entrenamiento y la prevención de lesiones en el atletismo sudamericano*.

Se me ha explicado qué datos se recogerán (videos del gesto técnico, frecuencia cardíaca, fatiga, dolor y calidad del sueño), con qué finalidad y quién tendrá acceso a ellos. Entiendo que los datos se usarán para cuidar mi salud y ajustar mi entrenamiento, y no para excluirme de entrenamientos ni competencias. Sé que mis datos se identificarán con un código, que el uso de mi imagen requiere una autorización expresa y separada, y que puedo retirar mi consentimiento en cualquier momento sin consecuencia alguna.

Acepto participar de forma voluntaria.

Nombre o código del atleta: _____

Firma: _____ Fecha: _____

ANEXO M

CONSENTIMIENTO DEL REPRESENTANTE Y ASENTIMIENTO DEL ATLETA MENOR DE EDAD

Parte 1. Consentimiento del representante

Mi representado o representada ha sido invitado a participar en un programa que utiliza la observación técnica por video, el seguimiento fisiológico básico y el autorreporte para prevenir lesiones. He recibido información sobre los datos que se recogerán, su finalidad, quién tendrá acceso a ellos y mi derecho a retirar la autorización en cualquier momento sin consecuencia alguna. Entiendo que los datos se identificarán con un código y que cualquier uso de su imagen o su voz requiere una autorización expresa y separada.

Autorizo su participación de forma voluntaria.

Nombre del representante: _____

Parentesco: _____ Firma: _____ Fecha: _____

Parte 2. Asentimiento del atleta menor de edad

Te invitamos a participar en un programa para cuidar tu cuerpo durante el entrenamiento. Vamos a grabar videos de tus movimientos, a medir tu pulso y a preguntarte cómo te sientes. Esta información sirve para ajustar tu entrenamiento y evitar lesiones, no para dejarte fuera de nada. Participar es tu decisión: puedes decir que no o parar cuando quieras y nadie se molestará. Si tienes dudas, puedes preguntar antes de empezar.

Acepto participar: Sí [ ] No [ ]

Nombre o código del atleta: _____

Firma o marca: _____ Fecha: _____

ANEXO N

PLAN DE CAPACITACIÓN DEL CUERPO TÉCNICO Y DE LOS ATLETAS

El plan organiza la capacitación en torno a los ejes pedagógico y ético del modelo. Las fechas y la duración se acuerdan con cada programa; no se fijan en este formato.

Módulo	Contenido	Participantes	Evidencia
1. Fundamentos de la prevención de lesiones	Sobrecarga, fatiga no resuelta, carga aguda y crónica y sus límites de interpretación; lesiones frecuentes según la clase funcional	Cuerpo técnico y atletas	Registro de asistencia
2. Autorreporte y registro	Uso de las escalas de 1 a 5; llenado del formato de autorreporte y del registro fisiológico	Atletas y cuerpo técnico	Bitácoras completadas
3. Observación técnica por video	Toma de videos en 2D; detección de asimetrías y compensaciones; uso de la ficha de observación	Cuerpo técnico	Fichas de observación
4. Lectura de alertas y decisión	Niveles de alerta; criterios para reducir la carga, cambiar el estímulo o derivar	Cuerpo técnico y atletas	Matriz de alertas y decisiones
5. Ética y protección de datos	Consentimiento y asentimiento; confidencialidad; finalidad preventiva; prohibición de usar las alertas para excluir	Cuerpo técnico, atletas y representantes	Formatos firmados

ANEXO O

TABLERO DE INDICADORES DEL MODELO

El tablero registra, para cada indicador del modelo, la línea base, la meta acordada con el programa y el resultado de cada periodo. Las metas no se fijan de antemano: se establecen a partir de la línea base real.

Código	Indicador	Línea base	Meta acordada	Resultado del periodo	Observación
I1	Sesiones con autorreporte registrado				
I2	Sesiones de alta demanda con registro fisiológico				
I3	Videos analizados por atleta				
I4	Alertas generadas y decisiones documentadas				
I5	Interrupciones del entrenamiento por molestia o lesión				
I6	Personas que completaron la capacitación				
I7	Atletas con consentimiento vigente y registros conformes al protocolo				
I8	Utilidad y confianza percibidas				