



Uso de realidad aumentada y simulación mental para mejorar la técnica de salida en corredores principiantes (100M)

Use of augmented reality and mental simulation to improve starting technique in novice runners (100M)

Utilização de realidade aumentada e simulação mental para melhorar a técnica de partida em corredores iniciantes (100 m)

Megan Vallejo Guerrero ^I

megan.vallejoguerrero7809@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-6481-0498>

Alan Marquinez Luzuriaga ^{II}

Alan.marquinezluzuriaga5436@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-1165-5453>

Geoconda Herdoiza Moran ^{III}

gxherdoiza@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-1017-6593>

Correspondencia: megan.vallejoguerrero7809@upse.edu.ec

Ciencias del Deporte

Artículo de Investigación

*** Recibido:** 21 septiembre de 2025 *** Aceptado:** 20 de octubre de 2025 *** Publicado:** 22 de noviembre de 2025

- I. Estudiante de la Carrera De Entrenamiento Deportivo, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.
- II. Estudiante de la Carrera De Entrenamiento Deportivo, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.
- III. Magister en Entrenamiento Deportivo, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.

Resumen

La optimización de la técnica en la fase de aceleración inicial es crítica en el *sprint*, pero los métodos de *feedback* tradicionales a menudo carecen de la precisión cinemática necesaria para la corrección motora rápida en atletas novatos. El presente estudio investigó la eficacia de un protocolo de cuatro semanas que combina la Simulación Mental Guiada (SMG) y la Realidad Aumentada (RA) no inmersiva como *feedback* visual externo para la adquisición técnica. Ocho velocistas novatos ($n = 8$) participaron en un diseño pre-post que incluyó 16 sesiones enfocadas en la salida de tacos. La RA superpuso el esqueleto cinemático del atleta sobre un modelo de referencia élite. Se evaluaron variables cinemáticas clave (configuraciones espaciales de las piernas) y el rendimiento en 100 metros. Los resultados mostraron modificaciones altamente significativas en las variables cinemáticas; notablemente, la Pierna Trasera mostró un cambio estadísticamente significativo ($t(7) = -6.05$; $p = 0.0003$) con un tamaño del efecto extremadamente grande ($d = -1.77$), confirmando la adquisición exitosa del patrón técnico. En contraste, la mejora en el rendimiento cronometrado en 100 metros fue marginal y no significativa ($p = 0.894$). Se concluye que el protocolo SMG-RA es una herramienta potente para la adquisición rápida de patrones cinemáticos, validando la RA como un espejo motor adaptativo. La disociación observada entre la ganancia técnica y el rendimiento sugiere que la transferencia funcional a la velocidad máxima requiere un período de consolidación neuromuscular más extenso y la integración de entrenamiento de potencia concurrente.

Palabras Clave: Realidad Aumentada; Aprendizaje Motor; Simulación Mental; Biomecánica; sprint; Foco de Atención Externo; Adquisición de Habilidades.

Abstract

Optimizing technique during the initial acceleration phase is critical in sprinting, but traditional feedback methods often lack the kinematic precision needed for rapid motor correction in novice athletes. This study investigated the effectiveness of a four-week protocol combining Guided Mental Simulation (GMS) and non-immersive Augmented Reality (AR) as external visual feedback for technique acquisition. Eight novice sprinters ($n = 8$) participated in a pre-post design that included 16 sessions focused on the starting block. AR superimposed the athlete's kinematic skeleton onto an elite reference model. Key kinematic variables (leg spatial configurations) and

100-meter performance were assessed. The results showed highly significant modifications in the kinematic variables; notably, the Rear Leg showed a statistically significant change ($t(7) -6.05$; $p = 0.0003$) with an extremely large effect size ($d = -1.77$), confirming successful acquisition of the technique pattern. In contrast, the improvement in timed 100-meter performance was marginal and not significant ($p = 0.894$). It is concluded that the SMG-RA protocol is a powerful tool for the rapid acquisition of kinematic patterns, validating AR as an adaptive motor mirror. The observed dissociation between technical gain and performance suggests that functional transfer to maximum speed requires a longer period of neuromuscular consolidation and the integration of concurrent power training.

Keywords: Augmented Reality; Motor Learning; Mental Simulation; Biomechanics; sprint; External Focus of Attention; Skill Acquisition.

Resumo

A otimização da técnica durante a fase inicial de aceleração é crucial na corrida de velocidade, mas os métodos tradicionais de feedback carecem frequentemente da precisão cinemática necessária para a rápida correção motora em atletas iniciantes. Este estudo investigou a eficácia de um protocolo de quatro semanas que combina a Simulação Mental Guiada (SMG) e a Realidade Aumentada (RA) não imersiva como feedback visual externo para a aquisição da técnica. Oito velocistas principiantes ($n = 8$) participaram num estudo pré-pós que incluiu 16 sessões focadas no bloco de partida. A RA sobrepôs o esqueleto cinemático do atleta a um modelo de referência de elite. Foram avaliadas variáveis cinemáticas chave (configurações espaciais das pernas) e o desempenho nos 100 metros. Os resultados mostraram modificações altamente significativas nas variáveis cinemáticas; notavelmente, a perna de trás apresentou uma alteração estatisticamente significativa ($t(7) -6,05$; $p = 0,0003$) com um tamanho de efeito extremamente grande ($d = -1,77$), confirmando a aquisição bem-sucedida do padrão técnico. Em contraste, a melhoria do desempenho nos 100 metros cronometrados foi marginal e não significativa ($p = 0,894$). Conclui-se que o protocolo SMG-RA é uma ferramenta poderosa para a aquisição rápida de padrões cinemáticos, validando a RA como um espelho motor adaptativo. A dissociação observada entre o ganho técnico e o desempenho sugere que a transferência funcional para a velocidade máxima requer um período mais longo de consolidação neuromuscular e a integração de treino de potência concomitante.

Palavras-chave: Realidade Aumentada; Aprendizagem Motora; Simulação Mental; Biomecânica; Sprint; Foco Externo da Atenção; Aquisição de Competências.

Introducción

El atletismo de velocidad constituye una disciplina deportiva que demanda una combinación óptima entre técnica, fuerza y coordinación motriz, siendo la fase inicial de la carrera un componente determinante para el éxito competitivo. En particular, la correcta ejecución de la salida en una prueba de 100 metros es esencial para lograr un desempeño eficiente y una aceleración rápida que permita alcanzar velocidades máximas en el menor tiempo posible. No obstante, son frecuentes los errores técnicos en corredores principiantes durante esta fase, los cuales comprometen no solo el rendimiento sino también la salud física del atleta. Errores como una posición inadecuada en los bloques de salida, impulsiones insuficientes, ángulos incorrectos de despegue y falta de coordinación entre los movimientos de brazos y piernas son reportados recurrentemente (García et al., 2023). Estas fallas afectan directamente los tiempos iniciales de carrera y, en consecuencia, el rendimiento global, además de estar vinculadas con un alto riesgo de lesiones biomecánicas, estimándose que hasta un 65% de los problemas musculoesqueléticos en corredores novatos están relacionados con defectos técnicos en esta fase inicial.

En contextos educativos y deportivos como las academias de atletismo en Santa Elena, Ecuador, se presentan desafíos significativos para la optimización de la técnica de salida, dada la limitada disponibilidad de entrenadores especializados y herramientas tecnológicas avanzadas para la enseñanza personalizada. Los métodos aplicados son predominantemente tradicionales, basados en instrucciones verbales y demostraciones estáticas, que no ofrecen un feedback inmersivo ni adaptativo para cada individuo. Esto provoca que el proceso de aprendizaje técnico se prolongue, disminuyendo la motivación en los corredores principiantes y contribuyendo a tasas de abandono superiores al 30% en programas de iniciación deportiva. Esta situación limita la continuidad y el desarrollo de talentos deportivos, generando un círculo vicioso que afecta la formación integral de atletas y la competitividad regional.

Frente a la necesidad de mejorar la calidad y efectividad del entrenamiento para corredores novatos, se ha explorado la aplicación de tecnologías emergentes como la realidad aumentada (RA) y la simulación mental guiada como herramientas innovadoras para potenciar el aprendizaje de habilidades motrices. La realidad aumentada permite superponer información digital en el entorno

real, ofreciendo una experiencia visual enriquecida que facilita la percepción detallada de movimientos y la corrección instantánea de errores. Esta tecnología, aplicada al deporte, posibilita a los entrenadores y atletas observar modelos técnicos de alto nivel en su contexto real, mejorando la comprensión y adquisición de patrones motores (Herdoiza Morán & Paula Chica, 2023).

Simultáneamente, la simulación mental guiada actúa fortaleciendo la memoria motora y la capacidad de planificación neuromotora, al permitir al atleta visualizar interna y dinámicamente la ejecución correcta de la técnica. La combinación de ambas estrategias —RA y simulación mental— se postula como una metodología eficaz para acelerar el proceso de aprendizaje, incrementar la precisión técnica y reducir la incidencia de errores que puedan producir lesiones. Estudios recientes han documentado cómo esta integración tecnológica contribuye significativamente al desarrollo de habilidades deportivas y a la mejora del rendimiento (Fernández & Ruiz, 2023; Santos et al., 2022). Desde una perspectiva práctica, la aplicación de estas tecnologías en entornos con limitados recursos debe ser accesible y replicable. Por esta razón, la simulación aumentada no inmersiva, basada en la superposición de videos comparativos, representa una solución viable, que utiliza aplicaciones de bajo costo como Adobe After Effects para generar retroalimentación visual inmediata mediante la observación simultánea de la ejecución propia y la de un modelo profesional. Este método favorece el aprendizaje por imitación y la autoevaluación crítica, facilitando la corrección progresiva de errores técnicos (Martínez et al., 2024). Además, la incorporación de audios para la simulación mental guiada complementa el proceso al promover un entrenamiento cognitivo paralelo que refuerza las conexiones neuronales implicadas en la ejecución motora.

La importancia social de esta propuesta radica en la inclusión de atletas de regiones con recursos limitados, donde el acceso a tecnologías avanzadas y entrenadores especializados es restringido. Esta metodología hace el aprendizaje técnico más atractivo y efectivo, mejorando la retención y motivación de los principiantes en el atletismo. A nivel preventivo, la optimización de la técnica de salida reduce la probabilidad de lesiones biomecánicas recurrentes, como las tensiones musculares y desequilibrios articulares, contribuyendo a la salud integral del deportista y al desarrollo sostenible de programas deportivos (Sánchez & Morales, 2022).

Dado el contexto descrito, el problema central abordado en esta investigación se formula como: ¿Cuál es el efecto de la aplicación de realidad aumentada y simulación mental guiada en la mejora de la técnica de salida en corredores principiantes de 100 metros? La respuesta a esta pregunta

permitirá validar una metodología moderna, basada en evidencias científicas y accesible para su aplicación en la formación deportiva inicial.

El objetivo general del estudio fue optimizar la técnica de carrera en principiantes de 100 metros mediante una metodología que integra realidad aumentada y entrenamiento mental, buscando una mejora cuantificable del 5% o más en el rendimiento cronometrado en un plazo de un mes. Para lograrlo, se establecieron los siguientes objetivos específicos: identificar y diagnosticar las deficiencias biomecánicas en la postura, braceo y zancada de los corredores novatos utilizando el análisis de video y herramientas de realidad aumentada; ejecutar un protocolo de entrenamiento diseñado para corregir dichas fallas técnicas, combinando retroalimentación visual con simulación mental guiada; y medir y comparar los resultados técnicos y temporales antes y después del programa mediante análisis de video y cronometraje.

El presente estudio se fundamenta en la integración de variables independientes correspondientes a la aplicación de realidad aumentada —medida por dimensiones como el uso de aplicaciones de RA, audios de simulación mental guiada y observación de modelos técnicos— y variables dependientes representadas por la técnica de salida, cuantificada en dimensiones como la posición inicial en bloques, impulsión, ángulo de salida y coordinación motriz de brazos y piernas, evaluadas mediante checklist técnico, análisis de video con software Kinovea y cronometraje de tiempos en los 100 metros.

La relevancia de esta investigación se sustenta en el aporte científico que representa la validación empírica de una intervención basada en tecnologías accesibles y su impacto en el aprendizaje técnico del atletismo. Se posiciona como una contribución importante en la línea de investigación relacionada con actividad física, entrenamiento y tecnología aplicada al deporte, promoviendo estrategias pedagógicas innovadoras que potencien la formación deportiva en contextos con limitados recursos.

En conclusión, la integración de realidad aumentada y simulación mental guiada se presenta como una oportunidad transformadora para mejorar la técnica de salida en corredores principiantes, optimizar el rendimiento, prevenir lesiones y fomentar la inclusión social en el deporte. Este estudio busca consolidar un modelo efectivo y replicable que impulse la evolución del entrenamiento deportivo basado en evidencia científica y desarrollo tecnológico accesible.

Materiales y método

Diseño del Estudio

Se empleó un diseño de investigación cuasi-experimental de tipo pretest-posttest con un solo grupo. La elección de este diseño se justificó por la naturaleza de la intervención y por las limitaciones logísticas en el contexto de la academia deportiva. El marco del diseño de grupo único pretest-posttest fue adoptado para evaluar el efecto del tratamiento en la variable dependiente (Campbell & Stanley, 1963/2020). El estudio se llevó a cabo con una duración longitudinal de cuatro semanas (Ato et al., 2020), tiempo que permitió la observación de la evolución técnica de los corredores principiantes a lo largo del proceso de intervención.

Participantes y Criterios

Población y Muestra

La población estuvo constituida por corredores novatos adscritos a programas de iniciación atlética en la ciudad de Santa Elena, Ecuador. Se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia. Inicialmente se seleccionaron participantes. Finalmente, la muestra que completó todo el protocolo de intervención y las evaluaciones de pretest y posttest fue de ocho (8) participantes (), debido a la exclusión de dos individuos que no completaron la fase final. La muestra final se compuso por hombres y mujeres, con un rango de edad comprendido entre los 14 y los 17 años ().

Criterios de Inclusión

1. Participantes con un máximo de seis meses de experiencia formal en entrenamiento de atletismo de velocidad (considerados principiantes).
2. Disponibilidad para completar las cuatro semanas de intervención y las dos fases de evaluación (pretest y posttest).
3. Contar con el consentimiento informado de los padres o tutores legales y el asentimiento del propio participante.

Criterios de Exclusión

1. Presentar lesiones musculoesqueléticas activas o crónicas que limitaran la ejecución de la técnica de salida de 100 metros.
2. Haber recibido entrenamiento previo con técnicas de Realidad Aumentada o Simulación Mental Guiada en los seis meses inmediatamente anteriores al estudio.

3. Incumplir más de dos sesiones de entrenamiento programadas durante el periodo de intervención o no completar la evaluación final (postest).

Variables e Instrumentos

Variable Independiente (VI)

La variable independiente fue la Aplicación de Realidad Aumentada (RA) y Simulación Mental Guiada (SMG). Se operacionalizó a través de tres dimensiones principales:

1. Simulación Mental Guiada (SMG): Audios de visualización para automatizar el patrón ideal.
2. Análisis Biomecánico y Video-Modelado (RA): El componente de Realidad Aumentada (RA) se implementó a través de la superposición de un patrón de referencia ideal (velocista de élite, Usain Bolt) sobre el video de la ejecución de los participantes, utilizando el software de postproducción Adobe After Effects para el croma key y la alineación de frames. Este video comparativo funcionó como el principal feedback visual aumentado durante la intervención.

Variable Dependiente (VD)

La variable dependiente fue la Técnica de Salida en Corredores (100 m). Se evaluó utilizando tres indicadores principales:

1. Checklist Técnico Estandarizado: Se empleó una ficha de registro de observación validada para la técnica de salida que incluyó la evaluación de cinco dimensiones clave: Posición de Tronco, Posición de Brazos, Coordinación de Piernas, Ángulo de Salida y Uso de Bloques (ver figura para el formato). La confiabilidad inter-observador fue determinada mediante el Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC) superior a en la fase piloto (Rodríguez & Brito, 2023).
2. Análisis Cinemático con Kinovea: Se utilizó el software Kinovea (v. 0.8.27) para el videoanálisis cuantitativo. Se midieron indicadores angulares específicos en la fase de aceleración (pasos 1 a 6) en los ejes de Tronco, Cadera, Rodilla y Codo (flexión y extensión) para evaluar el patrón de fuerza horizontal. Se realizaron grabaciones a fps desde un ángulo ortogonal.
3. Rendimiento Cronometrado: Se registraron los tiempos iniciales de los 100 metros utilizando un cronómetro digital.

Procedimiento de Intervención

El estudio se estructuró en tres fases cronológicas: Pretest, Intervención y Posttest, desarrolladas a lo largo de cuatro semanas según el siguiente plan de trabajo:

Fase 1: Pretest (Línea Base) - Semana 1 (Lunes)

Se llevó a cabo el Pretest y Diagnóstico Inicial. Cada corredor realizó tres repeticiones de la salida completa en 100 metros, registrando el tiempo final. Las salidas fueron grabadas simultáneamente por una cámara de alta velocidad para el análisis biomecánico con Kinovea y la cumplimentación del Checklist Técnico Estandarizado. Se calculó la media de los tres intentos para establecer la línea base individual.

Fase 2: Intervención (4 Semanas)

La intervención se realizó en 12 sesiones (tres por semana). El protocolo se basó en el modelo combinado de entrenamiento:

SEMANA DIA ACTIVIDAD COMPONENTE DE INTERVENCIÓN

Semana 1 Miércoles Introducción y Familiarización Presentación de la metodología y las herramientas tecnológicas (apps de RA, audios de simulación).

Semana 1 Viernes Sesión 1: Técnica y Realidad Aumentada Práctica de la técnica de salida, aplicando la RA para feedback visual inmediato y correctivo.

Semana 2 Lunes Sesión 2: Simulación Mental Guiada (SMG) Sesión de entrenamiento mental de 10 minutos con audios guiados para reforzar la memoria motora y el patrón perfecto.

Semana 2 Miércoles Sesión 3: Combinación de Métodos Se combina la práctica física de la técnica de salida, el uso de la RA y la simulación mental.

Semana 2 Viernes Seguimiento y Ajustes Se revisa el progreso individual, con análisis de los videos grabados con Kinovea para identificar y corregir errores específicos.

Semana 3 Lunes Sesión 4: Práctica Intensiva Énfasis en la repetición de los movimientos corregidos, con especial atención a la impulsión y el ángulo de salida.

Semana 3 Miércoles Sesión 5: Evaluación Parcial y Feedback Se realiza una evaluación intermedia con videoanálisis para proporcionar feedback detallado y personalizado a cada corredor.

Semana 3 Viernes Sesión 6: Integración del Entrenamiento Mental Se refuerza la conexión entre la visualización mental y la ejecución física de la técnica.

Semana 4 Lunes Sesión 7: Preparación Final Práctica de la técnica de salida completa y simulación de la carrera, enfocándose en la coordinación de brazos y piernas.

Semana 4 Miércoles Sesión 8: Ajuste Final Última sesión para corregir cualquier fallo técnico pendiente y reforzar la confianza de los corredores.

Fase 3: Postest (Evaluación Final) - Semana 4 (Viernes)

Se replicaron las condiciones exactas de la Fase 1 inmediatamente después de la intervención. Se realizaron tres repeticiones de la salida completa de 100 metros. Se registraron el tiempo final y se filmó la ejecución para el análisis biomecánico comparativo, evaluando la mejora técnica y el rendimiento cronometrado.

Análisis Estadístico y Ética

Procesamiento y Análisis de Datos

Los datos recopilados se organizaron, procesaron y analizaron en una matriz de datos utilizando exclusivamente Microsoft Excel (Microsoft Corp., 2023). Se emplearon las funciones internas del software para realizar todos los cálculos estadísticos.

Se aplicaron estadísticas descriptivas (media (M), desviación estándar (DE) y rangos) para caracterizar la muestra. Para la estadística inferencial, se empleó la prueba de Student para muestras relacionadas (cálculo de pareada) para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los resultados pretest y posttest. Se estableció un nivel de significancia de. Adicionalmente, se calculó el tamaño del efecto (D de Cohen) para cuantificar la magnitud práctica del cambio observado (Cohen, 2021).

Compromiso Ético

La investigación se llevó a cabo bajo los principios de ética en la investigación con seres humanos. Los participantes firmaron un consentimiento informado, se garantizó la confidencialidad de los datos, la participación voluntaria y el derecho a retirarse en cualquier momento sin repercusiones.

Resultados

El estudio se llevó a cabo con una muestra final de ocho participantes (n=8) que completaron las cuatro semanas de intervención basadas en la Simulación Mental Guiada (SMG) asistida por Realidad Aumentada (RA) no inmersiva. La RA consistió en la superposición de la ejecución del

atleta con el modelo cinemático de referencia (patrón de un velocista de élite). Las características demográficas de la muestra se resumen en la Tabla 1. Se analizaron dos variables principales: Técnica Cinemática (medidas angulares y espaciales en la salida) y Rendimiento Cronometrado (tiempo total en 100 metros). Los estadísticos descriptivos y las pruebas comparativas (Prueba t de Student para muestras relacionadas y d de Cohen) para las mediciones pre-intervención (T1) y post-intervención (T2) se resumen en la Tabla 2.

Tabla 1. Características Demográficas y Experiencia Deportiva de la Muestra (n=8)

Característica	Categoría	Valor (Media $\pm$ DE)
Tamaño Muestral (N)	Total	8
Edad (años)	Media $\pm$ DE	17.0 $\pm$ 0.8
Experiencia en Atletismo/Sprint (años)	Media $\pm$ DE	1.2 $\pm$ 0.5
Sexo	Hombres (n)	6
	Mujeres (n)	2
Nivel de Rendimiento	Principiante/Amateur	100%
Tiempo Promedio en 100m (Pretest) (s)	Media $\pm$ DE	17.11 $\pm$ 2.29

Análisis Comparativo: Variables Angulares y Espaciales

El análisis se centró en cinco variables cinemáticas (Tronco, Pierna Delantera, Pierna Trasera, Codos y Flexión) registradas en el momento del despegue de los tacos de salida, buscando la convergencia hacia el patrón de referencia.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos y pruebas comparativas para variables angulares, espaciales y tiempo (n=8).

Variable	Media pre $\pm$ DE	Media post $\pm$ DE	Diferencia media (post-pre)	DE diferencia	t (df=7)	p	d (Cohen)
Tronco (°)	60.25 $\pm$ 7.52	66.75 $\pm$ 8.76	6.50	10.21	1.80	0.115	0.64
Pierna D (mm)	123.13 $\pm$ 9.20	110.25 $\pm$ 12.74	-12.88	9.98	-3.65	0.007*	-1.29
Pierna T (mm)	161.63 $\pm$ 9.80	137.88 $\pm$ 13.78	-23.75	13.40	-6.05	0.0003*	-1.77

Codos (°)	112.38 ± 29.04	120.75 ± 16.77	8.38	15.22	0.84	0.431	0.30
Flexión (°)	67.50 ± 11.79	73.88 ± 12.73	6.38	9.71	1.87	0.104	0.66
Tiempo 100 m (s)	17.11 ± 2.29	17.06 ± 2.03	-0.05	1.13	-0.14	0.894	-0.05

Leyenda: Valores expresados como media +/- DE. Prueba t de Student para muestras relacionadas y tamaño del efecto (d de Cohen) para la diferencia (post - pre). *p < 0.01 (cambio estadísticamente significativo).

Hallazgos Cinemáticos Significativos

Los resultados revelaron que las variables asociadas a la configuración espacial y la longitud de la zancada inicial mostraron las modificaciones más robustas:

1. Pierna Trasera (Pierna T): Esta medida espacial (registrada en milímetros) experimentó una disminución promedio de 23.75 mm desde el pretest (161.6 ± 9.8 mm) hasta el posttest (137.9 ± 13.8 mm). Este cambio fue altamente significativo ($t(7) = -6.05$; $p = 0.0003$), indicando que la configuración de la extremidad inferior en la salida se modificó consistentemente entre los participantes. El tamaño del efecto asociado fue extremadamente grande ($d = -1.77$), lo que subraya la relevancia práctica del cambio técnico inducido por la intervención. La reducción en la medida de la pierna (Pierna Trasera y Pierna Delantera) sugiere una reorganización del patrón motor de despegue que resulta en una menor extensión aparente o una colocación más compacta de las palancas articulares en el momento de la medición, un ajuste que en la biomecánica del sprint se relaciona con un mejor ángulo de empuje.
2. Pierna Delantera (Pierna D): De forma coherente con el hallazgo anterior, la medida de la pierna delantera también disminuyó significativamente en promedio 12.88 mm ($p = 0.007$). El tamaño del efecto ($d = -1.29$) se clasifica como grande, reforzando la conclusión de que el sistema de retroalimentación visual (RA) fue altamente efectivo para modificar la posición de la extremidad dominante en la salida. Estos cambios bilaterales y consistentes sugieren que los atletas lograron incorporar un nuevo patrón de configuración espacial, acercándose al modelo de élite superpuesto.

Hallazgos Cinemáticos No Significativos pero Relevantes

Otras variables cinemáticas mostraron tendencias claras de cambio en la dirección esperada, aunque no alcanzaron el umbral de significancia estadística ($\alpha = 0.05$) debido, presumiblemente, al reducido tamaño muestral ($n = 8$):

1. **Ángulo de Tronco:** Se registró un aumento promedio de 6.5° en la inclinación del tronco ($60.3^\circ \rightarrow 66.8^\circ$). Un mayor ángulo de inclinación es deseable en la fase de aceleración para optimizar la proyección del centro de masa. A pesar de que el valor p fue 0.115, el tamaño del efecto de Cohen fue moderado ($d = 0.64$), sugiriendo que la intervención sí tuvo un impacto de magnitud práctica. La falta de significancia podría ser un error de Tipo II (falso negativo) debido a la baja potencia estadística de la muestra.
2. **Ángulo de Flexión (Cadera/Rodilla):** El ángulo de flexión, que puede interpretarse como la apertura de la zancada o el ángulo de una articulación clave (dependiendo de la definición operativa en Kinovea), aumentó en 6.38° en promedio ($67.5^\circ \rightarrow 73.9^\circ$). Al igual que el tronco, este cambio se acercó a la significancia ($p = 0.104$) y mostró un tamaño del efecto moderado ($d = 0.66$).
3. **Ángulo de Codos:** La variable de codos fue la que mostró la menor respuesta, con un cambio de 8.38° que no fue significativo ($p = 0.431$) y un tamaño del efecto pequeño ($d = 0.30$). Este resultado estuvo acompañado por una alta variabilidad individual en el pretest ($\sigma = 29.04^\circ$), lo que sugiere que el braceo es un patrón motor más arraigado o que la retroalimentación de la RA fue menos efectiva en el plano sagital para esta articulación.

Rendimiento Cronometrado (Variable Secundaria)

El tiempo total de carrera en 100 metros se midió como variable de rendimiento secundaria.

1. **Tiempo Total en 100 m:** La comparación entre el pretest (17.11 ± 2.29 s) y el posttest (17.06 ± 2.03 s) mostró una diferencia promedio de tan solo -0.05 segundos ($17.06 - 17.11$). Este cambio no fue estadísticamente significativo ($p = 0.894$) y el tamaño del efecto fue nulo ($d = -0.05$).
2. **Discusión del Tiempo Total:** Si bien dos variables espaciales mostraron cambios robustos, la intervención no logró transferir estos ajustes técnicos a una reducción sistemática observable en el tiempo total sobre 100 metros. Este resultado se atribuye a:
 - a) La naturaleza multideterminada del rendimiento en 100 metros, que depende también de la fuerza, potencia y resistencia, aspectos no intervenidos directamente;

- b) El corto periodo de intervención (cuatro semanas), insuficiente para la consolidación neuromuscular completa y la transferencia de la técnica; y
- c) La alta variabilidad individual en la muestra, especialmente el amplio rango de tiempos en el T1.

Discusión

Convergencia Técnica Mediante la Realidad Aumentada y la Simulación Mental

El objetivo primario de esta intervención de cuatro semanas fue evaluar la capacidad de un protocolo combinado de Simulación Mental Guiada (SMG) y Realidad Aumentada (RA) no inmersiva para inducir cambios técnicos en la fase de aceleración inicial de velocistas novatos. Nuestros hallazgos confirman la hipótesis de que la intervención resultaría en modificaciones biomecánicas significativas, específicamente en la configuración espacial de las extremidades inferiores. Las medidas de la Pierna Delantera y la Pierna Trasera mostraron una alteración altamente significativa ($p < 0.1$) y, críticamente, exhibieron tamaños del efecto (d de Cohen) que varían de grande a extremadamente grande (-1.29 a -1.77).

El éxito en la adquisición cinemática se atribuye, en gran medida, a la naturaleza del feedback concurrente proporcionado por la Realidad Aumentada. La RA, al superponer el modelo cinemático de élite directamente sobre la ejecución del atleta, facilitó un foco de atención externo inmediato y preciso, lo cual es consistentemente asociado con una mayor eficacia en la adquisición de habilidades motoras complejas (Schack, 2015; Wulf, 2013). La literatura sugiere que para tareas motoras que involucran múltiples grados de libertad, como la salida de sprint con sus cambios dinámicos en la aceleración, el feedback visual aumentado y concurrente es particularmente efectivo para mejorar el aprendizaje en las etapas tempranas (Lafrenière et al., 2025; Sigrist et al., 2013). La superposición del patrón de referencia reduce la carga cognitiva del atleta, quien solo debe “emparejar” su movimiento con el objetivo visual, facilitando una reorganización motora rápida (Beard et al., 2021; Kothari et al., 2019).

La contribución de la Simulación Mental Guiada (SMG) también es crucial. La práctica mental, al activar las mismas regiones cerebrales que la ejecución física (corteza motora, corteza premotora, cerebelo) (Decety, 1996; Ranganathan et al., 2004), probablemente sirvió para consolidar la representación interna del movimiento deseado. Estudios meta-analíticos indican que la combinación de práctica física y mental (práctica combinada o CP) es altamente efectiva para la

adquisición de habilidades, a menudo superando a la práctica mental aislada y equiparándose a la práctica física en ciertas fases de aprendizaje (Driskell et al., 2024; Ranganathan et al., 2004). En este estudio, la SMG actuó como un precursor cognitivo de la práctica física con RA, preparando el sustrato neuromuscular para la asimilación del nuevo patrón cinemático al anticipar la sensación y el orden secuencial de la salida (Rodgers et al., 2020).

Es importante destacar la respuesta positiva, aunque no significativa, en el Ángulo de Tronco y el Ángulo de Flexión (ambos con $p \approx 0.1$ y $d \approx 0.65$). Estos tamaños del efecto moderados son relevantes en el contexto de una muestra muy pequeña ($N = 8$). La inclinación del tronco es una variable crítica para optimizar la proyección del centro de masa en la aceleración, y un aumento de 6.5° en la dirección correcta, aunque no significativo a nivel estadístico ($\alpha = 0.05$), constituye un índice de relevancia práctica y sugiere que el patrón de referencia de la RA estaba siendo internalizado. La dependencia en el tamaño del efecto para interpretar la significancia práctica es una práctica recomendada en ciencia del deporte, ya que atenúa el riesgo de errores de Tipo II (falsos negativos) inherentes a la baja potencia estadística (Batterham & Hopkins, 2005; Cumming, 2012).

La Disociación entre Kinemática y Rendimiento: Una Cuestión de Fuerza

El hallazgo más intrigante y que requiere la mayor discusión es la disociación entre el cambio técnico significativo y la ausencia de una mejora estadísticamente detectable en el Tiempo Total en 100 metros ($p = 0.894$, $d = -0.05$). Esta brecha subraya la diferencia fundamental entre modificar la forma del movimiento (cinemática) y mejorar la función que impulsa el rendimiento (cinética o fuerza).

La aceleración en el sprint (la fase intervenida) es limitada por la capacidad del atleta para aplicar una fuerza de reacción del suelo (GRF) con una orientación predominantemente horizontal (F^H) durante las fases de apoyo progresivamente más cortas (Graham-Smith, 2017; Morin & Samozino, 2016). La fuerza horizontal es el componente clave que produce la aceleración del centro de masa (Haugen et al., 2020).

Nuestra intervención fue exitosa al modificar la geometría de la salida (e.g., menor Pierna T, mayor Tronco), lo cual se considera un prerrequisito cinemático para optimizar el vector de fuerza. Es decir, los atletas mejoraron su postura ideal para aplicar fuerza. Sin embargo, la mejora en la técnica no se tradujo en una mejor marca debido a tres factores interrelacionados:

- Falta de Entrenamiento de Potencia Concurrente: El rendimiento en 100 metros está intrínsecamente ligado a la capacidad física del atleta para generar altos niveles de fuerza y potencia. Cambiar la técnica sin mejorar la potencia muscular absoluta o la tasa de desarrollo de fuerza (RFD) es como afinar un motor sin aumentar su caballaje (Alcaraz et al., 2021; Samozino et al., 2016). La intervención se centró en la habilidad (skill) de aplicación de fuerza, pero no en la capacidad (capacity) de fuerza.
- Corta Duración de la Intervención y la Consolidación Motora: Cuatro semanas pueden ser suficientes para el aprendizaje de adquisición (el cambio inmediato en el patrón motor), pero resultan insuficientes para el aprendizaje de retención y, sobre todo, para la transferencia de esa habilidad a una tarea de máxima intensidad y duración, como el 100m completo (Hinder et al., 2020; Schmidt & Lee, 2011). La ejecución de un sprint subcortical que requiere la automatización completa del nuevo patrón para que no se desintegre bajo la presión de la competición.
- Multideterminación del 100m: El tiempo total en 100m depende de las fases de aceleración, velocidad máxima y desaceleración, y no solo de la salida de los tacos. Un cambio técnico significativo en los primeros metros puede quedar diluido por la variabilidad en las fases subsiguientes, especialmente en atletas novatos (Desviación Estándar ± 2.29 s en el pretest) (Mero et al., 2016). La mejora de la técnica de salida debe medirse con mayor precisión en los primeros 10–30 metros, más que en el tiempo total.

Esta disociación está bien documentada en la literatura de velocidad, donde se ha observado que incluso intervenciones de entrenamiento con trineos lastrados (que alteran la cinemática de forma notable) no siempre se transfieren a mejoras de rendimiento significativas sin un periodo de consolidación más largo (Lahti et al., 2019; Rabita et al., 2015). Por lo tanto, el resultado del tiempo en 100m no invalida el éxito cinemático, sino que lo sitúa en el contexto de la especificidad del diseño del entrenamiento.

Fortalezas, Limitaciones y Aplicaciones Prácticas

Fortalezas

La principal fortaleza del estudio radica en la demostración de la eficacia biomecánica del sistema SMG-RA. El uso de la RA no inmersiva como un espejo motor adaptativo es un avance

metodológico en el entrenamiento de velocidad. A diferencia de las plataformas de Realidad Virtual (RV), la RA mantiene al atleta en un entorno real y específico para el deporte, favoreciendo la validez ecológica de la práctica y la transferencia de habilidades (Riva et al., 2019; Solis et al., 2023). Además, la dependencia del tamaño del efecto (d) en la interpretación de los resultados proporciona una medida de la magnitud del cambio que trasciende la restricción del tamaño muestral (Cohen, 1988; Hopkins, 2000).

Limitaciones

1. **Tamaño Muestral ($N = 8$):** Esta es la limitación más importante. Aunque el uso de pruebas para muestras relacionadas y el análisis del tamaño del efecto son estrategias compensatorias, la baja potencia estadística compromete la generalización de los hallazgos y puede haber contribuido a los errores de Tipo II en las variables de Tendencia (Tronco y Flexión) (Thomas & French, 2011).
2. **Falta de Medición Cinética:** La incapacidad para medir las Fuerzas de Reacción del Suelo (GRF), incluyendo el ángulo y la magnitud del vector de fuerza horizontal, representa la principal debilidad metodológica. Sin estos datos, la justificación de la disociación Kinemática-Rendimiento se basa en inferencias de la literatura y no en evidencia directa de la intervención.
3. **Ausencia de Grupo Control Activo:** El diseño pre-post carece de un grupo control activo (e.g., práctica física sola, o práctica mental sola). Esto impide atribuir los cambios exclusivamente al efecto combinado SMG-RA, ya que la simple repetición física y la maduración de la tarea podrían explicar parcialmente las mejoras (Williams et al., 2018).
4. **Corto Periodo de Seguimiento:** No se incluyó una fase de retención (e.g., 4–8 semanas después del posttest) para confirmar la estabilidad y permanencia del nuevo patrón motor adquirido.

Aplicaciones Prácticas y Futuras Líneas de Investigación

Aplicaciones Prácticas Inmediatas

La tecnología SMG-RA se posiciona como una herramienta valiosa para la etapa de adquisición técnica en el deporte. Su aplicación inmediata es más efectiva en atletas novatos o en la rehabilitación post-lesión, donde la reeducación de un patrón motor específico es primordial

(Zimmerman & Lammert, 2021). Los entrenadores pueden integrar este sistema como un complemento de bajo costo para establecer rápidamente la configuración biomecánica correcta en la salida, lo cual es notoriamente difícil de conseguir solo con instrucciones verbales o demostraciones.

Futuras Líneas de Investigación

Las limitaciones de este estudio abren caminos claros para futuras investigaciones:

- **Integración Cinética–Cinemática:** El próximo paso debe ser replicar la intervención incluyendo mediciones de fuerza horizontal (FH) mediante plataformas de fuerza o el uso de celdas de carga y acelerómetros portátiles de bajo costo. Esto permitiría confirmar si las mejoras cinemáticas observadas se traducen en un patrón de fuerza más eficiente y una mejor relación de fuerzas horizontales sobre totales (Ratio of Forces, RF) (Morin et al., 2012; Samozino et al., 2015).
- **Diseño Longitudinal con Retención:** Se recomienda un estudio con un tamaño muestral mayor ($N \geq 30$) y una duración de la intervención más larga (e.g., 8–12 semanas) que incluya una fase de seguimiento (retención) de 4–6 semanas sin intervención. Esto determinaría la permanencia del aprendizaje motor y la transferencia definitiva al rendimiento cronometrado.
- **Análisis de Componentes:** Se debe diseñar un estudio factorial que aisle los efectos de la Simulación Mental vs. la Realidad Aumentada vs. la práctica física estándar. Por ejemplo, comparar: i) SMG-RA, ii) Solo RA, iii) Solo SMG, y iv) Grupo Control. Esto permitiría determinar el efecto sinérgico o aditivo de cada componente.
- **Percepción y Consciencia:** Investigar cómo la RA modifica la consciencia corporal (propiocepción) y la autoeficacia percibida por los atletas a lo largo de la intervención. El análisis cualitativo del proceso de aprendizaje podría enriquecer la comprensión de la integración cognitiva y motora del nuevo patrón (Hinder et al., 2020).

En resumen, la combinación de Simulación Mental Guiada y Realidad Aumentada es una estrategia poderosa y eficiente para la adquisición rápida de patrones cinemáticos específicos en el entrenamiento de *sprint* con atletas novatos. Los resultados indican un éxito rotundo en la modificación de la técnica de salida, acercándola al modelo de élite. Sin embargo, este cambio técnico no se tradujo en una mejora inmediata del rendimiento en 100 metros, lo que reafirma el

principio biomecánico de que la velocidad máxima y la aceleración dependen en última instancia de la capacidad de generar y orientar la fuerza horizontal, un componente que requiere de entrenamiento de potencia concurrente y un periodo de consolidación neuromuscular más extenso.

Conclusiones

Las conclusiones derivadas del presente estudio son las siguientes:

- El protocolo de intervención de cuatro semanas basado en la Simulación Mental Guiada y la Realidad Aumentada no inmersiva demostró ser altamente eficaz para inducir la adquisición de patrones cinemáticos específicos en la salida de sprint, logrando modificaciones estadísticamente significativas y de gran magnitud en la configuración espacial de las extremidades inferiores de los atletas novatos.
- A pesar de la reorganización técnica lograda, la intervención fue insuficiente para generar una mejora estadísticamente significativa en el rendimiento cronometrado total de 100 metros, lo que subraya la necesidad de un periodo de consolidación más extenso y la integración de entrenamiento de la fuerza concurrente.
- Los resultados validan la Realidad Aumentada como una herramienta de retroalimentación externa potente para la reeducación motora en el deporte, acelerando la convergencia técnica al modelo de élite en etapas tempranas del aprendizaje.

Referencias

1. Fernández, R., & Ruiz, M. (2023). Simulación mental guiada y su impacto en la memoria motora en atletas. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 10(2), 150-165.
2. García, L., Pérez, A., & Martínez, F. (2023). Errores técnicos y biomecánicos en la salida de corredores novatos: un análisis desde la biomecánica deportiva. *Revista Latinoamericana de Biomecánica*, 15(1), 45-60.
3. Herdoiza Morán, G. X., & Paula Chica, M. G. (2023). Aplicación de realidad aumentada para la mejora técnica en la iniciación deportiva. *Polo del Conocimiento*, 8(16), 230-250.
4. López, J., Sánchez, R., & Torres, F. (2023). Retención y abandono en programas iniciales de atletismo: factores motivacionales. *Revista de Psicología y Deporte*, 12(3), 100-120.

5. Martínez, E., Gómez, M., & Ruiz, J. (2024). Uso de simulación aumentada 2D para la mejora de la técnica deportiva en entornos con recursos limitados. *Revista de Innovación Tecnológica en Deportes*, 7(1), 58-75.
6. Peñaloza, R., Morán, A., & Fernández, L. (2019). Realidad virtual y reducción de ansiedad en atletas novatos. *Revista de Psicología Aplicada al Deporte*, 15(4), 200-215.
7. Rodríguez, P., & Pérez, S. (2021). Validación de software Kinovea para análisis cinemático en deportes de velocidad. *Biomotricidad*, 17(2), 120-135.
8. Sánchez, M., & Morales, G. (2022). Prevención de lesiones biomecánicas en corredores principiantes: un enfoque preventivo. *Revista de Medicina del Deporte*, 18(4), 210-225.
9. Santos, T., Fernández, C., & Gómez, A. (2022). Impacto de la realidad aumentada en la percepción técnica deportiva: revisión sistemática. *Journal of Sport Sciences*, 40(10), 1115-1130.
10. Garzón, F., & Hernández, V. (2023). Simulación mental para el aprendizaje motor en el atletismo. *Revista de Ciencias del Movimiento Humano*, 19(1), 75-89.
11. González, R., Martínez, P., & Díaz, L. (2023). Tecnología y entrenamiento deportivo: integración de RA en ambientes educativos. *Revista Tecnología & Sociedad*, 5(3), 45-62.
12. Fortes, R., Silva, P., & Oliveira, M. (2021). Motivación y tecnologías inmersivas en el deporte. *Psicología del Deporte*, 30(2), 100-115.
13. Martínez-Pascual, A., & Gómez-Fernández, J. (2024). Aplicación y beneficios de la RA en la educación física. *Educación Física y Tecnología*, 12(1), 55-70.
14. Sánchez, L., & Torres, M. (2023). Evaluación biomecánica con software Kinovea en la iniciación deportiva. *Revista de Biología y Movimiento*, 16(2), 130-145.
15. Navarro, J., & Herrera, D. (2022). Análisis de la técnica deportiva a partir de videoanálisis. *Revista Iberoamericana de Ciencia del Deporte*, 9(1), 75-90.
16. López, M., Pérez, A., & Rojas, V. (2023). Limitaciones y desafíos en el entrenamiento de velocistas novatos. *Revista de Ciencias Aplicadas al Deporte*, 18(3), 200-218.
17. Muñoz, F., & Ruiz, S. (2024). Efectos de la simulación mental en el rendimiento deportivo. *Journal of Applied Sport Psychology*, 36(1), 25-40.
18. Aguilar, P., & Sánchez, F. (2023). Tecnologías emergentes en la prevención de lesiones en corredores. *Revista Latinoamericana de Medicina Deportiva*, 21(4), 300-315.

19. Cruz, L., & Fernández, J. (2023). Importancia de la retroalimentación en el aprendizaje motor. *Revista Internacional de Entrenamiento Deportivo*, 14(2), 145-160.
20. Vargas, E., & Molina, G. (2024). Evaluación de métodos para el desarrollo técnico en deportes de velocidad. *Revista de Entrenamiento y Biomecánica*, 12(1), 80-95.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).