

## TRABAJO FIN DE MÁSTER



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

**OPTIMIZACIÓN DEL GESTO TÉCNICO EN  
LA FASE DE VELOCIDAD MÁXIMA A TRAVÉS  
DEL CONSTRAINTS – LED APPROACH Y SU  
IMPACTO SOBRE EL RENDIMIENTO: UN  
ESTUDIO DE CASO EN ATLETISMO SUB16**

ALUMNA: ÁNGELA DEL RAMO SÁEZ

TUTOR ACADÉMICO: FRANCISCO JAVIER MORENO HERNÁNDEZ

COTUTORA ACADÉMICA: CARLA CABALLERO SÁNCHEZ

MÁSTER UNIVERSITARIO EN RENDIMIENTO DEPORTIVO Y SALUD

CURSO ACADÉMICO: 2024 – 2025

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	3
<b>Palabras clave</b> .....	3
<b>Introducción</b> .....	4
<b>Método</b> .....	6
<i>Participantes</i> .....	6
<i>Contexto y diseño de estudio</i> .....	7
<i>Análisis del gesto técnico y evaluación del rendimiento</i> .....	8
<i>Referencias biomecánicas de la fase de velocidad máxima en las carreras de velocidad</i> .....	8
<i>Materiales y protocolo de medida</i> .....	9
<i>Diseño de tareas y ejercicios bajo el Constraints – Led Approach</i> .....	11
<i>Evaluación de la representatividad</i> .....	13
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	15
<b>Anexos</b> .....	18
<i>Anexo 1. Sesión 1 de intervención diseñada bajo el Constraints – Led Approach</i> .....	18
<i>Anexo 2. Sesión 2 de intervención diseñada bajo el Constraints – Led Approach</i> .....	19
<i>Anexo 3. Sesión 3 de intervención diseñada bajo el Constraints – Led Approach</i> .....	20

## Resumen

El presente Trabajo de Fin de Máster analiza los efectos de una intervención basada en el *Constraints – Led Approach* (CLA) sobre el gesto técnico en la fase de velocidad máxima en carreras de velocidad, desde una perspectiva ecológica del aprendizaje motor. El CLA propone la optimización del rendimiento mediante la manipulación de constreñimientos individuales, de tarea y ambientales, promoviendo la autoorganización del sistema motor en contextos de práctica representativos. A partir de los principios de la dinámica ecológica y la pedagogía no lineal, se apuesta por un modelo de entrenamiento variable y adaptativo, en contraste con los métodos tradicionales centrados en la repetición técnica o *drills*. Pese a su respaldo teórico, la aplicación del CLA en deportes individuales de habilidades cerradas, como el atletismo, sigue siendo escasa. Por ello, este estudio evalúa el impacto del entrenamiento bajo el CLA sobre la optimización del gesto técnico y el rendimiento en atletas de categoría sub16. Para su discusión, se diseñó un protocolo de evaluación mediante registro videográfico, aplicado pre y post intervención, que permitió analizar el gesto técnico en base a referencias biomecánicas clave de la fase de velocidad máxima y medir el rendimiento en una prueba de *sprint* lanzado.

## Palabras clave

Constraints – Led Approach; aprendizaje ecológico; atletismo; biomecánica; pedagogía no lineal; *sprint*; técnica de carrera; variabilidad funcional; velocidad máxima.

## Introducción

El estudio del movimiento humano desde una perspectiva comportamental ha permitido, en los últimos años, profundizar en la comprensión de los procesos de aprendizaje y control motor, especialmente en contextos tan exigentes y dinámicos como el deportivo. A pesar de tratarse de un ámbito relativamente reciente, con poco más de un siglo de desarrollo, las últimas décadas han sido testigo de una notable evolución teórica y metodológica. Diferentes modelos y teorías científicas intentan explicar cómo se generan, organizan y adaptan los movimientos a través del entrenamiento. Distintas líneas de investigación destacan la necesidad de seguir profundizando en cómo optimizar los procesos de aprendizaje y optimización del rendimiento en el deporte.

Tradicionalmente, el control del movimiento se ha considerado desde un enfoque cognitivista, fundamentado en la memoria neuromotora, es decir, en la existencia de programas motores almacenados internamente en el cerebro y capaces de guiar el movimiento (Rosa-Guillamón & García-Cantó, 2018). En 1975, surge la Teoría del Esquema Motor de Schmidt, una de las más representativas de dicho enfoque, la cual parte del concepto de programas motores generalizados, entendidos como estructuras internas representativas de características constantes de un conjunto de movimientos similares (Arias, 2003).

En contraste, desde la perspectiva de la complejidad del sistema motor, los modelos dinámicos consideran la emergencia del movimiento como resultado de la autoorganización de múltiples subsistemas en interacción. En este marco, la Teoría de los Sistemas Dinámicos Complejos describe el comportamiento motor como no lineal y dependiente de la interacción entre los grados de libertad del sistema y las condiciones del entorno. Bernstein (1967), quien abordó el control de los grados de libertad en los sistemas biológicos, destacó que el movimiento no se encuentra rígidamente programado, sino que se ajusta funcionalmente a las demandas cambiantes de la tarea. Bajo esta lógica, los patrones motores emergen del equilibrio entre constreñimientos individuales, de tarea y ambientales, considerando la variabilidad en el movimiento como un recurso adaptativo esencial, no como un error (Cano-de-la-Cuerda et al., 2015; Czyż & Coker, 2023; Moreno & Ordoño, 2009; Moreno & Ordoño, 2015).

En la evolución de este marco, la Teoría de la Dinámica Ecológica introduce el principio de percepción – acción, según el cual el comportamiento motor surge de la interacción continua entre el organismo y su entorno. En este contexto, adquiere relevancia el concepto de *affordances*, definido por Gibson (1979) como las oportunidades de acción que ofrece el entorno en función de las capacidades del / de la deportista. Con ello, esta teoría sostiene que el aprendizaje motor se optimiza en contextos de práctica representativos de las condiciones reales de ejecución, permitiendo que el sistema motor reorganice dinámicamente sus patrones en respuesta a los cambios contextuales (Czyż & Coker, 2023; Seifert et al., 2012; Kennedy & O'Brien, 2024; Rosa-Guillamón & García-Cantó, 2018).

Dichos enfoques teóricos enmarcados bajo los modelos dinámicos se alinean con la pedagogía no lineal, que promueve la simplificación de la tarea bajo un contexto

específico en oposición al reduccionismo de esta y la rigidez y linealidad metodológica característicos de la pedagogía tradicional. Para ello, la pedagogía no lineal apuesta por un proceso dinámico y variable, como es la metodología de manipulación de constreñimientos, permitiendo así la exploración y emergencia de nuevos patrones comportamentales innovadores y adaptativos en consecuencia de la reconfiguración activa de la cognición, la percepción, la toma de decisiones y la acción (Correia et al., 2019; Czyż & Coker, 2023).

En sintonía con ello se estructura el *Constraints – Led Approach* (CLA). Esta aproximación se basa en la manipulación fundamentalmente de constreñimientos de la tarea y del ambiente con el objetivo de facilitar la autoorganización y la adaptación motriz (Correia et al., 2019). No obstante, pese a su valía y potencial como marco de diseño de entornos de entrenamiento, a día de hoy existe una gran brecha entre su desarrollo teórico y su implementación práctica eficiente (Kennedy & O'Brien, 2024). Aunque se ha explorado en deportes colectivos y de confrontación, su aplicación en disciplinas individuales, especialmente en aquellas de habilidades cerradas como el atletismo, sigue siendo limitada. En consecuencia, en ese tipo de contextos relativamente estables, el entrenamiento técnico suele mantenerse dentro de marcos tradicionales centrados en la ejecución repetitiva de patrones de movimiento, debido en parte al desconocimiento de alternativas como el CLA y su poca evidencia científica en dicho ámbito (Whelan et al., 2016).

Situándonos en las carreras de velocidad de atletismo como disciplina y contexto específico, la técnica de carrera representa un factor clave del rendimiento (Capelo, 2022). Sin embargo, definir una técnica óptima universal resulta complejo, ya que los constreñimientos individuales, de tarea y ambientales influyen significativamente en su expresión. A pesar de la existencia de una base biomecánica común tanto para la aceleración como para la velocidad máxima, la técnica y optimización biomecánica de cada atleta se encuentra condicionada por sus propias limitaciones estructurales y funcionales (Glazier & Mehdizadeh, 2019; Haugen et al., 2019). En línea con esta complejidad de los sistemas dinámicos, la naturaleza de la técnica de carrera parece ser altamente idiosincrática, suponiendo una variabilidad significativa entre sujetos (Gunning et al., 2025).

Frente a este panorama, resulta pertinente investigar el potencial del CLA para desarrollar una metodología para el aprendizaje y la optimización de la técnica de carrera en atletismo. Su aplicación permitiría la omisión de prácticas tradicionales basadas en repetitivos ejercicios técnicos específicos, enmarcados bajo el concepto de '*drills*' y otros términos como el '*ABC Skipping*', en favor de tareas adaptadas a las restricciones del / de la atleta y con un nivel de desafío óptimo (Correia et al., 2019; Glazier & Mehdizadeh, 2019). Además, metodologías basadas en el CLA podrían contribuir a una mayor motivación intrínseca y a una mejora del foco atencional, mediante enfoques centrados en la tarea y no la ejecución en sí misma, en línea con la hipótesis de acción restringida, que sugiere que enfoques atencionales internos pueden interferir en los procesos deportivos que se ven favorecidos por un mayor automatismo, especialmente en los/as deportistas en

periodos de aprendizaje (Czyż & Coker, 2023; Ille et al., 2013; Porter et al., 2015; Moy et al., 2015; Porter et al., 2010; Winkelman et al., 2017; Wulf et al., 2001).

El diseño de sesiones bajo los principios del CLA comparte principios con diversas aproximaciones, como los de la teoría OPTIMAL (*Optimizing Performance Through Intrinsic Motivation and Attention for Learning*), que atiende a aspectos como la dificultad óptima, la gestión de expectativas y el diseño representativo (Czyż & Coker, 2023). Con ello, planificaciones a largo plazo tratan de situar a los/as deportistas en un punto de desafío que estimule la aparición de nuevas soluciones motrices eficientes, como propone el modelo de aprendizaje propuesto por Guadagnoli y Lee (2004). Asimismo, siguiendo las recomendaciones de Hodges y Lohse (2022), prestan especial atención a la gestión de expectativas, transmitiendo objetivos de mejora a largo plazo que ayuden a interpretar adecuadamente las fluctuaciones de rendimiento a corto plazo como parte del proceso de mejora. En cuanto al diseño representativo de las tareas, procuran que las percepciones, cogniciones y emociones evocadas sean funcionalmente similares a las de competición, incluso tratándose de una habilidad cerrada como la carrera de velocidad de atletismo (Czyż & Coker, 2023).

Con todo ello, el presente trabajo tiene por objetivo analizar los efectos de optimización de la técnica de carrera de velocidad máxima sobre el rendimiento en las carreras de velocidad de atletismo tras una propuesta de entrenamiento en variabilidad, basada en el CLA. Para ello, será llevada a cabo una intervención sobre dos atletas de categoría Sub16 y nivel autonómico, con una base técnica adquirida, pero todavía en proceso de aprendizaje y refinamiento de diversos aspectos técnicos.

Para su implementación práctica, el enfoque considerará principios operativos clave. En primer lugar, la intención de cada sesión se ajustará a las necesidades técnicas individuales y las dinámicas intrínsecas de los deportistas. En línea con ello, el diseño de los constreñimientos tratará de promover la exploración motriz sin imponer ejecuciones técnicas, y algunas de las condiciones a manipular incluirán factores no reglamentarios como la fatiga, que, aunque no definen de manera directa la habilidad, interfieren sobre esta, así como se hará uso de materiales como constreñimientos de tarea (Czyż & Coker, 2023). A todo ello, la carga de trabajo se adaptará al nivel de los atletas, en línea con el Síndrome General de Adaptación (Moreno & Ordoño, 2009; Moreno & Ordoño, 2015). Finalmente, se realizará una evaluación del impacto de las tareas diseñadas, permitiendo retroalimentar el proceso de intervención y ajustar los constreñimientos en función de las respuestas observadas (Renshaw et al., 2019).

## **Método**

### *Participantes*

La presente propuesta de intervención se llevó a cabo con dos atletas de categoría Sub16 y nivel autonómico. El sujeto 1 contaba con 1.5 años de experiencia en atletismo,

mientras que el sujeto 2 acumulaba 4 años de práctica en dicho deporte, ambos en etapa escolar.

Antes del inicio de la intervención, los/as tutores/as legales de ambos atletas, menores de edad, firmaron un consentimiento informado que recogía todos los aspectos relevantes del estudio: finalidad, descripción de la intervención, duración y calendario, posibles riesgos y beneficios, garantías de confidencialidad, carácter voluntario de la participación, derecho a retirarse en cualquier momento, y la correspondiente autorización mediante firma. El procedimiento fue aprobado conforme al Código de Investigación Responsable (COIR) por el Comité de Ética de la Universidad Miguel Hernández, con código de autorización TFM.MRD.FJM.H.ADRS.241202.

### *Contexto y diseño de estudio*

El presente estudio se enmarca dentro del ámbito del entrenamiento técnico en atletismo, concretamente en la modalidad de carreras de velocidad. La intervención fue desarrollada durante un periodo de dos semanas con dos atletas de categoría Sub16, integrantes de un grupo de escuela deportiva adscrita a uno de los clubes de atletismo de la localidad ilicitana. El objetivo principal fue analizar el impacto de una propuesta de entrenamiento técnico basado en el *Constraints – Led Approach* (CLA) sobre la optimización del gesto técnico en la fase de velocidad máxima y el rendimiento asociado.

El diseño adoptado se corresponde con un estudio de intervención de tipo cuasi – experimental de caso múltiple, centrado en la evolución individual de dos atletas con experiencia previa en entrenamientos técnicos convencionales, pero aún en proceso de mejora y consolidación de sus patrones motrices. Esta elección metodológica responde a la necesidad de comprender en profundidad el proceso de adaptación a tareas diseñadas bajo el marco del CLA, así como valorar su eficacia desde un enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo, en relación con referencias biomecánicas relevantes, que, como hemos visto, no adquieren una validez universal, pero pueden contribuir a la confirmación de aspectos técnicos de optimización sobre el rendimiento.

La investigación se llevó a cabo bajo condiciones ecológicas reales, empleando para ello el módulo de atletismo del Complejo de Formación Deportiva *El Clot*, perteneciente al campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández. Este entorno facilitó la representatividad funcional de las tareas propuestas, respetando las rutinas propias de entrenamiento de los atletas y permitiendo el uso de zapatillas con clavos, lo que favoreció su integración natural en la planificación deportiva general.

Con el fin de no generar una carga adicional, las sesiones se programaron durante unas semanas libres de competición en el calendario deportivo y con una duración aproximada de una hora y cuarto. Los atletas continuaron con su entrenamiento habitual, aunque ligeramente adaptado, tras cada intervención, por lo que se ajustó cuidadosamente la densidad de las tareas. La intervención, compuesta por tres sesiones distribuidas en dos semanas, fue diseñada bajo los principios metodológicos del CLA

(Renshaw et al., 2019), buscando generar un entorno variable, motivante, adaptativo y representativo de las condiciones reales de competición.

Previa y posteriormente a la intervención, se realizó un análisis del gesto técnico y una evaluación del rendimiento con el fin de evaluar los efectos atribuibles a la propuesta de entrenamiento.

### *Análisis del gesto técnico y evaluación del rendimiento*

El análisis y la evaluación del gesto técnico se centraron en la fase de velocidad máxima, correspondiente aproximadamente al tramo comprendido a partir de los primeros 30 metros de carrera. En esta etapa, el/la atleta ha completado la aceleración y trata de mantener su velocidad máxima alcanzada con la mínima pérdida de eficacia mecánica. Dada su importancia en el rendimiento global, junto con la fase de aceleración, esta fase requiere de una alta eficiencia técnica, ya que alteraciones en el patrón de zancada, el control postural o el *timing* pueden provocar caídas de velocidad o incrementos innecesarios del coste energético (Capelo, 2022; Glazier & Mehdizadeh, 2019; Haugen et al., 2019).

El análisis técnico, así como la evaluación del rendimiento, se llevó a cabo mediante análisis de vídeo, combinando planos laterales y frontales. Ambas mediciones se realizaron tanto antes como después de la intervención, con el objetivo de detectar posibles cambios cualitativos y cuantitativos atribuibles a la propuesta de entrenamiento bajo el CLA.

Por un lado, para la evaluación del rendimiento, se registró el tiempo de desplazamiento sobre un tramo de 20 metros lanzados a velocidad máxima, tras una aceleración previa de 30 metros. Por otro lado, para el análisis técnico, se consideraron tanto parámetros cinemáticos globales – como la frecuencia y amplitud de zancada y los tiempos de contacto y vuelo – como aspectos angulares relacionados con el gesto técnico en diferentes fases del ciclo: ángulo de ataque del pie en el momento de contacto, máxima flexión de rodilla en el apoyo, triple extensión al final del impulso y elevación del muslo durante la fase de vuelo, así como indicadores del control del tren superior, incluyendo alineación postural, inclinación del tronco y braceo.

### *Referencias biomecánicas de la fase de velocidad máxima en las carreras de velocidad*

La fase de velocidad máxima, ejecutada tras la aceleración inicial, se caracteriza por la estabilización del ritmo y la frecuencia de zancada, elementos fundamentales para mantener la velocidad alcanzada minimizando pérdidas asociadas a la fatiga, la desalineación postural o los errores técnicos (Haugen et al., 2019). La eficacia del gesto técnico en esta fase depende de la capacidad del / de la atleta para aplicar fuerza en el menor tiempo posible, así como de la eficiencia en la coordinación intersegmentaria (Glazier & Mehdizadeh, 2019; Morin et al., 2011).

Desde una perspectiva cinemática, la velocidad resulta de la interacción entre la amplitud y la frecuencia de zancada. No obstante, esta relación no responde a un patrón universal, ya que depende de factores individuales como la morfología, la rigidez elástica (*stiffness*) o las capacidades neuromusculares del / de la atleta (Moir et al., 2018). La optimización técnica requiere mantener una frecuencia elevada sin comprometer una amplitud eficaz, lo cual implica minimizar el tiempo de contacto con el suelo y controlar el tiempo de vuelo para lograr una progresión fluida y reactiva.

Desde el punto de vista biomecánico, diversos indicadores permiten evaluar la calidad del gesto. El patrón de apoyo debe presentar un contacto breve y reactivo con el suelo, favoreciendo una acción propulsiva eficiente que minimice las fuerzas de frenado pasivo previas al impulso (Morin et al., 2011). Este patrón depende, entre otros factores, del ángulo de ataque del pie, que debe ser positivo o próximo a la horizontal con respecto al suelo – es decir, con la puntera ligeramente elevada o el pie relativamente plano – justo antes del contacto para favorecer un apoyo activo bajo el centro de masas y optimizar así la transferencia de fuerzas (Morin et al., 2011; Wild et al., 2011).

Asimismo, la proyección del centro de masas por delante del punto de apoyo, con una oscilación vertical mínima, se considera también un indicador clave de eficiencia mecánica (Haugen et al., 2019). Igualmente relevante es la adecuada extensión de cadera al final del apoyo, que refleja una culminación eficiente de la fase propulsiva (Nagahara & Murata, 2024).

Otro componente técnico esencial es el movimiento de la pierna oscilante, cuya recuperación rápida del muslo y flexión activa de rodilla permite acotar el tiempo de recobro, preparar eficazmente el siguiente apoyo y optimizar la frecuencia de zancada (Haugen et al., 2019). En paralelo, el braceo debe mantenerse coordinado y rítmico respecto al ciclo de zancada, favoreciendo la estabilidad del eje corporal, ya que un braceo asimétrico o excesivamente amplio puede interferir negativamente en la mecánica de carrera (Macadam et al., 2018).

En cuanto al control postural, resulta esencial una alineación estable del eje cabeza – tronco – pelvis con el fin de evitar oscilaciones indeseadas, fugas de energía o pérdidas de eficiencia en la transmisión de fuerzas (Clark & Weyand, 2014).

Por último, desde una perspectiva ecológica y basada en la dinámica del sistema, se reconoce que estos patrones no son universales, sino que emergen de la interacción entre restricciones individuales, condiciones de tarea y factores del entorno. Por ello, el análisis técnico debe considerar tanto referencias biomecánicas estandarizadas como la variabilidad funcional expresada por cada atleta en contextos representativos (Glazier & Mehdizadeh, 2019).

### *Materiales y protocolo de medida*

La recogida de datos se realizó en el módulo de atletismo del Complejo de Formación Deportiva *El Clot*, ubicado en el campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández. Este espacio cuenta con una recta de 80 metros de tartán que permitió

respetar las condiciones habituales de competición, incluyendo el uso de calzado con clavos.

Para el análisis del gesto técnico y del rendimiento se registró la fase de velocidad máxima de la carrera, correspondiente al tramo comprendido entre los 30 y 50 metros de un *sprint* lanzado de 50 metros, cuya fase de aceleración inicial (0–30 m) no fue analizada. Tras la realización de un calentamiento general y específico, cada atleta completó tres ensayos tanto en el pre – test como en el post – test, todos ellos a intensidad máxima y con recuperación completa entre intentos para minimizar el efecto de la fatiga.

El protocolo de vídeo incluyó tres cámaras digitales, distribuidas según su función y plano de análisis (*Figura 1*):

1. Cámara 1: Panasonic DMC-FZ200 (móvil), ubicada en plano lateral y utilizada para estimaciones temporales y cinemáticas.
2. Cámara 2: Casio Exilim EX-F1 (fija), también en plano lateral, destinada al análisis técnico angular y de amplitud de la zancada.
3. Cámara 3: Panasonic DMC-FZ200 (fija), situada en plano frontal y empleada para evaluar alineaciones, estabilidad postural y movimiento de las extremidades superiores.

Todas las grabaciones se realizaron en modo de alta velocidad (cámara lenta), lo que permitió una observación detallada del gesto técnico y una mayor precisión en la toma de tiempos y el análisis articular. Así, las cámaras se configuraron con frecuencias de grabación de 200 fps (VGA), 300 fps y 100 fps (HD), respectivamente (*Figura 1*), y un tiempo de obturación de 1/1000 s, con el fin de asegurar la nitidez en la captura del movimiento. Estos ajustes se realizaron en función de las capacidades específicas de cada dispositivo y buscando el mejor equilibrio entre calidad de imagen y utilidad para el análisis técnico asignado a cada cámara.

Las cámaras laterales se situaron a una distancia de 21.80 metros perpendiculares al centro del pasillo de carrera, mientras que la cámara frontal se colocó a 29 metros frente a la línea de los 50 metros del pasillo, alineada con el eje longitudinal de la recta. Todas las cámaras se instalaron sobre trípodes a una altura de 0.85 metros respecto al suelo. Para asegurar la validez métrica de las grabaciones, se emplearon picas de calibración ubicadas en posición vertical sobre conos, así como un marco de calibración visible en los tres planos de grabación (*Figura 1*). Además, se colocaron marcadores anatómicos visibles en puntos articulares clave de los atletas – tobillo, rodilla, cadera, hombro, codo y muñeca – para facilitar el análisis del gesto.

Las mediciones angulares registradas desde el plano lateral se limitaron al lado derecho del cuerpo del atleta, dado que solo en ese perfil se observaban con claridad todos los puntos anatómicos de referencia marcados para el análisis.

El procesamiento y análisis de los vídeos se realizó mediante el software Kinovea, ampliamente validado para el análisis cinemático en contextos deportivos. A partir de los registros se calcularon las siguientes variables, organizadas por bloques:

#### Evaluación del rendimiento:

- Tiempo de desplazamiento sobre 20 metros lanzados

#### Parámetros cinemáticos globales:

- Frecuencia de zancada
- Amplitud de zancada
- Tiempo de contacto
- Tiempo de vuelo

#### Parámetros articulares técnicos:

- Ángulo de ataque del pie en el instante de contacto inicial
- Máxima flexión de rodilla durante la fase de apoyo
- Ángulos de triple extensión (cadera, rodilla y tobillo) en el momento de despegue
- Ángulos articulares en el momento de máxima elevación del muslo durante la fase de vuelo
- Inclinación de la línea de hombros respecto a la horizontal
- Inclinación del tronco y de la cabeza respecto a la vertical
- Oscilaciones laterales del brazo (a la altura de la muñeca y el codo)

Este protocolo permitió recoger datos de forma sistémica. La comparación entre el pre – test y el post – test facilitó la identificación de posibles adaptaciones individuales en la ejecución técnica y el rendimiento, tanto intra como interesesión, posiblemente derivadas de la intervención propuesta.

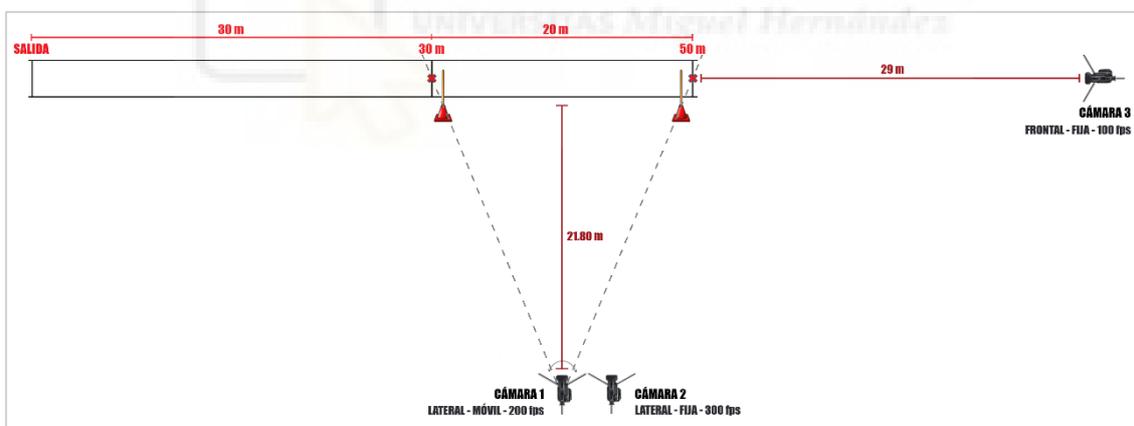


Figura 1. Configuración y disposición de los materiales durante el protocolo de medida.

#### *Diseño de tareas y ejercicios bajo el Constraints – Led Approach*

El diseño de esta intervención se fundamentó en los principios del *Constraints – Led Approach* (CLA), un enfoque que promueve el aprendizaje motor a través de la exploración activa y la autoorganización del / de la atleta. A diferencia de los métodos que buscan reproducir una técnica ideal universal, este modelo apuesta por la creación de entornos de práctica ricos en variabilidad funcional, manipulando de forma estratégica constreñimientos de tarea y ambientales que, a su vez, interactúan con los constreñimientos individuales.

El diseño de las tareas buscó favorecer la emergencia de soluciones motrices adaptativas y representativas de las demandas reales del contexto competitivo. Para ello, se atendió a los siguientes principios metodológicos:

- Variabilidad funcional: se indujeron alteraciones en el entorno o en las condiciones de ejecución para estimular la exploración motriz y la reorganización del gesto técnico.
- Representatividad: las tareas se diseñaron para evocar demandas perceptivo – motoras propias de la competición, facilitando el acoplamiento entre percepción y acción.
- Manipulación de constreñimientos: se alteraron variables del entorno y/o de la propia tarea o se introdujeron perturbaciones externas con el fin de modificar el comportamiento motor sin prescribir soluciones.
- Autoorganización: se evitó imponer modelos técnicos concretos, favoreciendo la aparición de patrones motrices individuales eficientes.
- Intermitencia: se alternaron repeticiones constreñidas con repeticiones libres, lo que permitió observar la transferencia de los ajustes emergentes al gesto sin restricciones.

La intervención se desarrolló a lo largo de tres sesiones, distribuidas en dos semanas y enmarcadas entre un pre – test y un post – test de evaluación técnico y de rendimiento. Cada sesión incluyó dos o tres tareas constreñidas de carrera, con una duración aproximada de 45 minutos de parte principal.

El diseño de las sesiones respondió a direcciones específicas de variabilidad, basadas en componentes claves del gesto técnico en la fase de velocidad máxima. En lugar de introducir perturbaciones de forma arbitraria, se priorizó una manipulación deliberada de tareas orientada a ampliar la variabilidad funcional ya presente en la ejecución natural del gesto, incrementando su magnitud o sensibilidad ante diferentes condiciones.

Este enfoque busca no solo aumentar la adaptabilidad motriz del atleta, sino también preparar al deportista para responder eficazmente a demandas habituales de competición, como la aparición de fatiga o la influencia de factores externos, como, por ejemplo, el viento. Además, ciertas tareas se orientaron específicamente a optimizar la eficiencia técnica, en algunos casos mediante el trabajo sobre la alineación del eje corporal y la coordinación intersegmentaria, lo que contribuye a un mejor control postural y braceo.

Cada sesión se centró en una o dos dimensiones concretas:

#### Sesión 1 – Variabilidad en la organización espaciotemporal de la zancada (Anexo 1)

Se manipuló la amplitud y temporalidad del gesto técnico mediante la modificación en la distancia entre vallas de baja altura y conos, variando la distancia entre obstáculos de forma creciente y/o aleatoria.

#### Sesión 2 – Variabilidad en el entorno físico y en el braceo (Anexo 2)

Se introdujeron limitaciones espaciales mediante pasillos de anchura variable, y se manipularon las características del braceo (limitación o amplificación) para favorecer su regulación y exploración funcional.

### Sesión 3 – Variabilidad funcional inducida por perturbaciones y fatiga (Anexo 3)

Se diseñaron tareas con elementos inestables que desafiaron la estabilidad postural (como picas inestables sobre los hombros) y una carrera con amplitud de zancada creciente tras la inducción de fatiga, simulando los tramos finales de un sprint.

Cada tarea se inició con una fase de aceleración (aproximadamente 15 metros), seguida de un tramo destinado a la velocidad máxima (de 20 a 40 metros, según la tarea), que constituía el núcleo de intervención técnica. Con lo que respecta a la carga o complejidad de cada tarea, esta fue adaptada mediante un continuo de dificultad creciente, ajustado al nivel de experiencia, capacidad de adaptación y estado de los atletas.

En todas las sesiones, las repeticiones sin constreñimientos se intercalaron estratégicamente para observar el grado de transferencia de los ajustes emergentes. Esta alternancia, enmarcada dentro del principio de intermitencia, permitió valorar cómo reorganizaba el sistema motor sus patrones de ejecución una vez retirado el constreñimiento.

Por último, la planificación se llevó a cabo en coordinación con los/as entrenadores/as responsables, garantizando que el volumen e intensidad de trabajo no interfiriesen con las cargas habituales del grupo de entrenamiento. Se controlaron cuidadosamente el número de ejercicios, series y recuperación entre repeticiones, para asegurar una intervención eficaz y sostenible dentro del calendario competitivo.

### *Evaluación de la representatividad*

Dentro del marco metodológico del *Constraints – Led Approach* (CLA), el diseño de tareas debe atender al principio de representatividad, entendido como la capacidad de las tareas para mantener una relación funcional con las demandas reales del entorno competitivo (Araújo et al., 2007).

Una tarea representativa es aquella que conserva la estructura perceptiva, motriz y cognitiva de la situación de referencia, facilitando el acoplamiento entre percepción y acción y permitiendo la emergencia de soluciones adaptativas (Seifert et al., 2012). Esta representatividad implica que los gestos no sean descompuestos artificialmente, que la intensidad de ejecución sea elevada y que las condiciones de práctica reproduzcan elementos clave del rendimiento, como la fatiga o la inestabilidad postural debida al viento, entre otras (Moreno & Ordoño, 2015).

En cuanto a la representatividad específica de cada tarea, se diseñaron distintas propuestas que, desde la manipulación de constreñimientos, emulan situaciones funcionales reales del entorno competitivo. Las tareas con vallas o conos a distancias

variables (crecientes o aleatorias), planteadas en la primera sesión (*Anexo 1*), obligaron al atleta a reorganizar la amplitud y frecuencia de zancada ante estímulos espaciales variables, simulando la necesidad de modular la longitud y cadencia de la zancada en respuesta a condiciones alteradas por la activación neuromuscular, el ritmo de carrera o la presión competitiva. Estas variaciones promovieron una autorregulación continua de la acción motriz, muy similar a la que se requiere durante una carrera de velocidad real.

Referente a la segunda sesión (*Anexo 2*), las tareas de braceo amplificado o limitado mediante el uso de testigos promovieron la exploración activa de diferentes rangos de movimiento en el tren superior. Esta variabilidad fue relevante para optimizar el acoplamiento entre brazos y piernas. Asimismo, la tarea de pasillos estrechos, al limitar lateralmente el espacio de ejecución, incrementó la exigencia del control postural y la alineación del eje corporal, favoreciendo la economía gestual y la estabilidad segmentaria durante la zancada.

En la tercera sesión (*Anexo 3*), la tarea con pica inestable sobre los hombros generó oscilaciones inesperadas sobre el tren superior, lo que estimuló ajustes finos en el control postural dinámico, similares a los necesarios en situaciones de viento o desequilibrio. Finalmente, la tarea bajo fatiga, tras una actividad previa intensa, simuló las condiciones fisiológicas y neuromusculares de los últimos metros de algunas de las pruebas de velocidad, cuando la eficiencia técnica suele verse comprometida. Esta propuesta permitió evaluar y reforzar la capacidad del sistema motor para reorganizarse funcionalmente en un entorno de alta exigencia y deterioro físico.

En conjunto, todas las tareas incluidas han sido diseñadas para mantener la integridad del gesto técnico global, estimular adaptaciones propias del contexto real de rendimiento y facilitar la emergencia de soluciones individuales eficientes. Esta estrategia de diseño se alinea con los principios ecológicos y con la teoría de la representatividad, favoreciendo una transferencia más robusta del aprendizaje a situaciones reales de competición (Seifert et al., 2012).

## Referencias bibliográficas

- Araújo, D., Davids, K. & Passos, P. (2007). Ecological Validity, Representative Design, and Correspondence Between Experimental Task Constraints and Behavioral Setting: Comment on Rogers, Kadar, and Costall (2005), *Ecological Psychology*, 19(1), 69-78. <https://doi.org/10.1080/10407410709336951>
- Arias, E. (2003). Implicaciones didácticas de la teoría del esquema en el aprendizaje y entrenamiento de la técnica deportiva. *Lúdica Pedagógica*, 1(8). <https://doi.org/10.17227/ludica.num8-7611>
- Cano-de-la-Cuerda, R., Molero-Sánchez, A., Carratalá-Tejada, M., Alguacil-Diego, I. M., Molina-Rueda, F., Miangolarra-Page, J. C., & Torricelli, D. (2015). Teorías y modelos de control y aprendizaje motor. Aplicaciones clínicas en neurorehabilitación. *Neurología*, 30(1), 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2011.12.010>
- Capelo, F. (2022). Nuevas perspectivas para el entrenamiento de la capacidad de aceleración: Efectividad del trabajo específico sobre las variables mecánicas del sprint. *Universidad de Almería*. <https://repositorio.ual.es/handle/10835/14079>
- Clark, K., & Weyand, P. (2014). Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics? *Journal of Applied Physiology*, 117(6), 604-615. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00174.2014>
- Correia, V., Carvalho, J., Araújo, D., Pereira, E., & Davids, K. (2018). Principles of nonlinear pedagogy in sport practice. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 24(2), 117-132. <https://doi.org/10.1080/17408989.2018.1552673>
- Czyż, S., & Coker, C. (2023). An applied model for using variability in practice. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 18(5), 1692-1701. <https://doi.org/10.1177/17479541231159473>
- Davids, K., Button, C. & Bennett, S. (2008). Dynamics of skill acquisition: A constraints – led approach. *Human Kinetics*.
- Glazier, P., & Mehdizadeh, S. (2019). In search of sports biomechanics' holy grail: Can athlete-specific optimum sports techniques be identified? *Journal of Biomechanics*, 94, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.07.044>
- Guadagnoli, M., & Lee, T. (2004). Challenge point: a framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. *Journal of motor behavior*, 36(2), 212-224. <https://doi.org/10.3200/JMBR.36.2.212-224>
- Gunning, E., Golovkine, S., Simpkin, A. J., Burke, A., Dillon, S., Gore, S., Moran, K., O'Connor, S., White, E., & Bargary, N. (2025). Analysing kinematic data from recreational runners using functional data analysis. *Computational Statistics*, 40, 1825-1847. <https://doi.org/10.1007/s00180-024-01591-1>

- Haugen, T., McGhie, D., & Ettema, G. (2019). Sprint running: From fundamental mechanics to practice – a review. *European Journal of Applied Physiology*, 119(6), 1273-1287. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04139-0>
- Hodges, N., & Lohse, K. (2022). An extended challenge-based framework for practice design in sports coaching. *Journal of sports sciences*, 40(7), 754–768. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.2015917>
- Ille, A., Selin, I., Do, M.-C., & Thon, B. (2013). Attentional focus effects on sprint start performance as a function of skill level. *Journal of Sports Sciences*, 31(15), 1705-1712. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.797097>
- Kennedy, A., & O'Brien, K. A. (2024). Adding texture to the Art of constraints-led coaching: A request for more research-informed guidelines. *Sports Coaching Review*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/21640629.2024.2395135>
- Macadam, P., Cronin, J. B., Uthoff, A. M., Johnston, M., & Knicker, A. J. (2018). Role of Arm Mechanics During Sprint Running: A Review of the Literature and Practical Applications. *Strength & Conditioning Journal*, 40(5), 14-23. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000391>
- Moir, G., Brimmer, S., Snyder, B., Connaboy, C., & Lamont, H. (2018). Mechanical Limitations to Sprinting and Biomechanical Solutions: A Constraints-Led Framework for the Incorporation of Resistance Training to Develop Sprinting Speed. *Strength and Conditioning Journal*, 40(1), 47-67. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000358>
- Moreno, F. J., & Ordoño, E. (2009). Aprendizaje motor y síndrome general de adaptación. *European Journal of Human Movement*, 22, 1-19.
- Moreno, F.J., & Ordoño, E. (2015). Variability and practice load in motor learning. [Variabilidad y carga de práctica en el aprendizaje motor]. *Ricyde. Revista Internacional De Ciencias Del Deporte*, 11(39), 62-78. <https://doi.org/10.5232/ricyde2015.03905>
- Morin, J.-B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical Ability of Force Application as a Determinant Factor of Sprint Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1680. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318216ea37>
- Moy, B., Renshaw, I., & Davids, K. (2015). The impact of nonlinear pedagogy on physical education teacher education students' intrinsic motivation. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 21(5), 517-538. <https://doi.org/10.1080/17408989.2015.1072506>
- Nagahara, R., & Murata, M. (2024). Support leg joint kinetic determinants of maximal speed sprint performance. *Journal of Sports Sciences*, 42(24), 2506-2516. <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2445430>
- Porter, J., Ostrowski, E., Nolan, R., & Wu, W. (2010). Standing Long-Jump Performance is Enhanced when Using an External Focus of Attention. *Journal of Strength and*

*Conditioning Research*, 24(7), 1746-1750.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181df7fbf>

- Porter, J., Wu, W., Crossley, R., Knopp, S., & Campbell, O. (2015). Adopting an External Focus of Attention Improves Sprinting Performance in Low-Skilled Sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 947-953.  
<https://doi.org/10.1097/jsc.0000000000000229>
- Renshaw, I., Davids, K., Newcombe, D., & Roberts, W. (2019). The Constraints-Led Approach: Principles for Sports Coaching and Practice Design.  
<https://doi.org/10.4324/9781315102351>
- Rosa-Guillamón, A., & García-Cantó, E. (2018). Análisis bibliográfico de los modelos teóricos explicativos del aprendizaje motor. *Universidad de Murcia*.
- Seifert, L., Button, C., & Davids, K. (2012). Key Properties of Expert Movement Systems in Sport: An Ecological Dynamics Perspective. *Sports Medicine*, 43(3), 167-178.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-012-0011-z>
- Whelan, N., Kenny, I., & Harrison, A. (2016). An insight into track and field coaches' knowledge and use of sprinting drills to improve performance. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 11(2), 182-190.  
<https://doi.org/10.1177/1747954116636716>
- Wild, J., Bezodis, N., & Blagrove, R. (2011). A Biomechanical Comparison of Accelerative and Maximum Velocity Sprinting: Specific Strength Training Considerations. *Professional Strength and Conditioning*, 21, 22-36.
- Winkelman, N., Clark, K., & Ryan, L. (2017). Experience level influences the effect of attentional focus on sprint performance. *Human Movement Science*, 52, 84-95.  
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.01.012>
- Wulf, G., McNevin, N., & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 54(4), 1143-1154. <https://doi.org/10.1080/713756012>

## Anexos

### Anexo 1. Sesión 1 de intervención diseñada bajo el Constraints – Led Approach

SESIÓN 1				
VARIABILIDAD EN LA ORGANIZACIÓN ESPACIOTEMPORAL DE LA ZANCADA				
EJERCICIO		DISTANCIA	REPETICIONES	RECUPERACIÓN
1	Carrera con vallas de baja altura a distancias cortas, con tendencia a incrementarse, pero no de manera sistemática.	20 m	3	1'30"
El nivel de carga puede ser modificado a través de la distancia a que se dispongan las vallas (mayor variedad en la amplitud de las vallas = más carga).				
2	Carrera con conos alcanzando distancias mayores, con tendencia a incrementarse, pero no de manera sistemática.	25 m	3	3'
El nivel de carga puede ser modificado a través de la distancia a que se dispongan los conos (amplitudes mayores y con incrementos más aleatorios = más carga).				
3	Carrera con conos a distancias aleatorizadas, sin una tendencia definida.	25 m	3	3'
El nivel de carga puede ser modificado a través de la alternancia a que se dispongan los conos (alternancias mayores = más carga).				

En el caso de la Sesión 1, centrada en la variabilidad de la organización espaciotemporal de la zancada, los ejercicios manipulan la distancia entre vallas y conos para inducir adaptaciones en la amplitud y la frecuencia de zancada. Cada tarea se inicia tras una fase de aceleración libre de aproximadamente 15 metros. Además, como criterio metodológico de aplicación, se introduce el principio de intermitencia, es decir, se intercala una repetición libre de 25 metros lanzados tras cada ejercicio constreñido, con el objetivo de observar la posible transferencia inmediata de los ajustes motrices generados.

La duración estimada de la parte principal de esta sesión es de aproximadamente 45 minutos.

Anexo 2. Sesión 2 de intervención diseñada bajo el Constraints – Led Approach

<b>SESIÓN 2</b>				
<b>VARIABILIDAD EN EL ENTORNO FÍSICO Y EN EL BRACEO</b>				
<b>EJERCICIO</b>		<b>DISTANCIA</b>	<b>REPETICIONES</b>	<b>RECUPERACIÓN</b>
<b>1</b>	Carrera a través de pasillos de picas verticales de amplitud variable, intercalados con tramos de carrera libres.	30 m	3	3'
El nivel de carga puede ser modificado a través del número y la amplitud de los pasillos (más pasillos y amplitudes menores = más carga).				
<b>2</b>	Carrera con testigos en las manos con un braceo reducido (el testigo no puede salir de debajo de la axila) + correr sin testigos (carrera libre).	25 m + 15 m	2	2'30"
El nivel de carga puede ser modificado a través del tamaño del testigo (testigo, u otro material alargado, más corto = más carga).				
<b>3</b>	Carrera con testigos en las manos con un braceo amplio (el testigo ha de alcanzar la parte alta del hombro) + correr sin testigos (carrera libre)	25 m + 15m	2	2'30"
El nivel de carga puede ser modificado a través del punto del hombro a alcanzar con el testigo (punto más posterior del hombro = más carga).				

La segunda sesión de intervención se encuentra orientada a explorar la influencia de la variabilidad en el entorno físico de la carrera, así como en la exploración del braceo. Los ejercicios están diseñados para generar adaptaciones tanto a nivel postural como segmentario, en situaciones que comprometen la estabilidad o modifican el patrón de movimiento habitual de los brazos.

El primer ejercicio manipula la anchura del espacio de desplazamiento mediante pasillos de picas verticales de anchura variables, lo que obliga a una mayor regulación del control postural. En los ejercicios segundo y tercero, se interviene activamente sobre las amplitudes del braceo utilizando testigos como limitadores del movimiento, favoreciendo la exploración de patrones alternativos de coordinación intersegmentaria.

Cada tarea se inicia con una fase de aceleración libre de aproximadamente 15 metros. Como criterio metodológico, se aplica el principio de intermitencia, incorporando una repetición de carrera libre de 25 metros lanzados tras el primer ejercicio, con el objetivo de observar la transferencia de los ajustes emergentes al gesto técnico sin constreñimientos. En cuanto a la duración estimada, la parte principal de la sesión es de 40 minutos.

Anexo 3. Sesión 3 de intervención diseñada bajo el Constraints – Led Approach

<b>SESIÓN 3</b>				
<b>VARIABILIDAD FUNCIONAL INDUCIDA POR PERTURBACIONES Y FATIGA</b>				
<b>EJERCICIO</b>		<b>DISTANCIA</b>	<b>REPETICIONES</b>	<b>RECUPERACIÓN</b>
<b>1</b>	Carrera con perturbaciones motoras generadas por el portaje sobre los hombros de una pica en disposición horizontal, desde los extremos de la cual rebotan un par de mancuernas de 1.5 kg atadas a gomas.	40 m	3	3'
El nivel de carga puede ser modificado a través del grado de perturbación motora generado (desequilibrios mayores = más carga) o la distancia a la que estas perturbaciones se producen con respecto al eje corporal (puntos de desequilibrio más alejados del eje corporal = más carga).				
<b>2</b>	Carrera sobre conos dispuestos a distancias crecientes inmediatamente después de haber generado fatiga ( <i>skipping</i> sobre la colchoneta de altura)	30 m	3	7'
El nivel de carga puede ser modificado a través del grado de fatiga (más tiempo de <i>skipping</i> y, con ello, más fatiga = más carga).				

La tercera y última sesión se centra en inducir variabilidad funcional mediante perturbaciones motoras externas y estados de fatiga, buscando simular condiciones desafiantes propias de la competición en fases de alta intensidad. Esta estrategia permite observar cómo los atletas reorganizan su gesto técnico ante interferencias en la estabilidad postural o en estados de menor eficiencia neuromuscular.

En el primer ejercicio, se introducen perturbaciones sobre el eje cabeza – tronco – pelvis mediante el portaje de una pica horizontal sobre los hombros, desde cuyos extremos penden mancuernas ligeras unidas con gomas, generando desequilibrios constantes y variables durante la carrera. En el segundo ejercicio, los atletas realizan un esfuerzo de alta intensidad (25” de *skipping* sobre colchoneta de salto de altura) antes de ejecutar un tramo de carrera sobre conos dispuestos a distancias crecientes, lo que simula las adaptaciones necesarias bajo fatiga, como ocurre en los metros finales de algunas de las pruebas de velocidad de atletismo.

Cada ejercicio es precedido por un tramo libre de aceleración de unos 15 metros, y se aplica nuevamente el criterio de intermitencia tras el primero de los ejercicios constreñidos, realizando una repetición libre de 25 metros de carrera lanzada para observar posibles ajustes emergentes y su transferencia al gesto no limitado. Con respecto a la duración total estimada de la parte principal de la sesión, es de aproximadamente 40 minutos.