

Teoría y práctica de entrenamiento

ESPRINTS: PUNTOS CRÍTICOS ENTRE EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y COMO SE APLICA EN RENDIMIENTO DEPORTIVO

SPRINTS: CRITICAL POINTS BETWEEN SCIENTIFIC KNOWLEDGE AND HOW IT IS APPLIED IN SPORTS PERFORMANCE

Rafael Martín Acero¹

¹Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidad de A Coruña

RESUMEN

En casi todos los procesos de entrenamiento deportivo se utilizan ejercicios de sprints, cuyo rendimiento tiene dependencia genética, pero sí son entrenables varios factores y sus variables subyacentes o pre-requisitos clave. Se viene produciendo muchas investigaciones sobre el sprint, pero escasas sobre casos reales, reconociendo que aún, cuando se aplican principios y métodos de entrenamiento, existe una brecha considerable entre la ciencia y las mejores prácticas, generándose disfunciones y sesgos en investigaciones publicadas.

Palabras Clave: sprints, entrenamiento, investigación, rendimiento deportivo

ABSTRACT

Sprint exercises are used in almost all sports training processes. Performance is genetically dependent, but several factors and their underlying variables or key prerequisites can be trained. Much research has been done on sprinting, but little has been done on real cases, recognizing that even when training principles and methods are applied, there is a considerable gap between science and best practices, generating dysfunctions and biases in published research.

Keywords: sprints, training, research, sports performance

INTRODUCCIÓN

En casi todos los procesos de entrenamiento deportivo se viene utilizando los sprints desde hace más de 125 años.

Son entrenables todos los factores determinantes

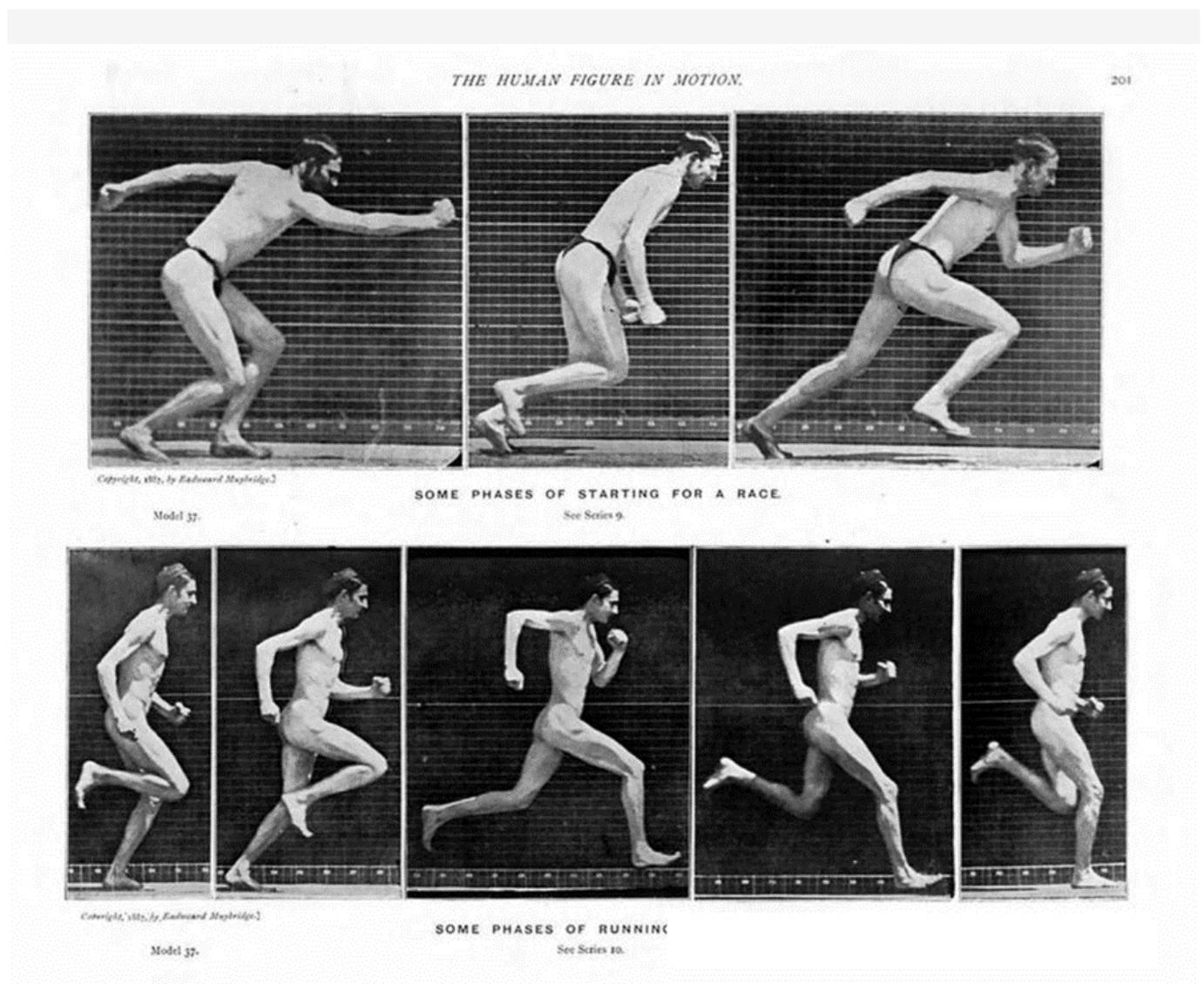
Aunque el rendimiento en esprint depende en gran medida de los rasgos genéticos, varios factores son entrenables, por ejemplo, la potencia, la técnica o la resistencia específica al sprint, y todas las variables subyacentes o pre-requisitos clave en cada factor limitante de las expresiones de la velocidad de desplazamiento específicas de cada deporte.

Se vienen utilizando distintos métodos de entrenamiento, entre los más populares se encuentran los métodos de esprints repetidos (Pruebas de Repetición - **PR**-; esprints repetidos -**RST**-) o de esprints en series (Series de Repetición -**SR**-; habilidad para repetir esprints -**RSA**-; etc.), sin cargas externas añadidas o con ellas. Cada método conlleva la definición de los componentes del carácter de su esfuerzo.

Existen muchas investigaciones dedicadas al entrenamiento del esprint, sin embargo, entre ellas son muy escasas o casi inexistentes las que estudian efectos del entrenamiento en el rendimiento de deportistas de competición a nivel nacional y, aún menos, internacional. Haugen et al. (2019) revisaron la literatura científica y la de las prácticas de éxito de alto nivel, informando que existe una brecha considerable en la aplicación de los principios y métodos de entrenamiento entre la investigación consolidada y esas prácticas.

VISIÓN Y PARADIGMAS DE LOS ENTRENADORES: TENDENCIAS

«La experiencia sin teoría es ciega, la teoría sin experiencia es, ni más ni menos, un juego intelectual» (E. Kant)



Desde hace tres décadas seguimos considerando que existen dos tendencias mal conciliadas, la de los entrenadores y la de los profesionales de las ciencias aplicadas al deporte o Ciencia(s) del Deporte (fisiología, biomecánica, etc.), por un lado demasiados técnicos siguen pensando que la ciencia es una sofisticación cara y poco útil y, por otro lado los académicos que creen que, sin cuantificar cada acción, la evolución del entrenamiento es muy escasa y lenta, llegando incluso a rechazar la experiencia de los entrenadores y los contenidos contrastados en la práctica (Martín Acero, 1992). Si alguna especialidad deportiva tiene necesidad de superar este enfrentamiento y resolverlo para sí, y de este modo plantear modelos de conductas y modos de enfrentarse al entrenamiento moderno, esta es la especialidad atlética de las carreras de velocidad, base de estudios aplicables metodológicamente a otras muchas especialidades deportivas (Martín Acero, 1992).

El entrenamiento es un proceso dirigido bajo decisiones tomadas casi siempre por el entrenador a partir de sus modelos y evaluaciones, es tan peligroso que el entrenador se oriente solo por su creencia e intuición como que se guíe solo por indicadores objetivados (Zatsiorski, 1989). El universo del entrenador está lleno de ponderaciones y matices, su visión interna es mucho más de lo que se puede observar sólo en los hechos exactos, su mundo se construye por hipótesis sobre previsiones, inestables por el momento. El «entrenamiento deportivo es un proceso pedagógico-científico complejo ...» (Vittori, 1983) durante el cual se pueden estudiar, guiar y optimizar los puntos fuertes y débiles individuales, adecuando las propuestas desde el continuado análisis de comparación del resultado esperado y del obtenido en cada conducta observable.

¿Quién, si no el entrenador, puede ahondar en las claves y formular mejor las dudas e hipótesis plausibles?, además de poder integrar en el proceso las ideas y los actos. Algunas de las ideas tienen momentos no sincrónicos de oportunidad generacional, sin embargo, sí podrán haberse expresado en alguna mejora del rendimiento en el entrenamiento y la competición.

A quienes piensan que hay que optar entre teoría y práctica, o que consideran que el entrenamiento es una artesanía que unos pocos pueden elevar a arte y que, los productos de la ciencia tan solo son eficaces cuando se han transformado en tecnología utilitarista, les invitamos a valorar esta reflexión de Wagensberg (1985): «Para crear ciencia, o arte, habría que estar lo suficientemente lúcido como para percibir la ambigüedad y luego lo bastante loco como para proponerse dominarla». Entonces podrían concluir que se puede entender el escenario del entrenamiento como un lugar de encuentro entre la ciencia y la pericia, entre el conocimiento y la experiencia, afrontando mayor control científico posible y validado para la práctica de excelencia.

La visión y misión del entrenador que pretenda acercarse al desafío de controlar la ambigüedad entre la ciencia y su pericia, en su acción de entrenar y construir conocimiento para una Metodología del Rendimiento Deportivo (MRD), probablemente tendrá que evolucionar a través de algunas fases paradigmáticas, desde la analítica a la sinérgica, pasando por la integral (Tabla 1). En la primera, se parte del análisis de algún modelo estándar de éxito, en la segunda se pretende integrar desde un modelo estándar con parámetros universales y, en la última, se prendería, desde una visión de la complejidad, construir un sistema funcional o modelo interpretativo y sistémico, de la interacción de variables limitantes de rendimiento de cada deportista en su contexto.

Tabla 1. Aproximación a la evolución de la visión y misión del entrenador que acepta su acción de entrenar como lugar común de la ciencia y de su habilidad y competencia. Fases paradigmáticas, y ejemplos de control y dirección del entrenamiento (A partir de Martín Acero, 1992).

PARADIGMA:	ANALÍTICO	INTEGRAL	SINERGÉTICO
VISIÓN Y MISIÓN DEL ENTRENADOR	Desde un modelo estándar de éxito , comúnmente aceptado , observa, compara, presupone o intuye externamente estructuras de movimiento estáticas o dinámicas.	Desde un modelo estándar con parámetros universales , observa posibles causas analíticas de déficits, plantea ejercicios, métodos y programas para alcanzar los valores de referencia en fuerza, resistencia, velocidad, técnica, etc.	Desde un sistema funcional, o modelo interpretativo y sistémico , de la interacción compleja de variables limitantes de rendimiento del deportista en su contexto: -Observación y registro continuo de variables subyacentes y específicas de las exigencias de la competición para las características contextuales del deportista. -Integra datos, experiencias y observaciones.
CONTROL Y DIRECCIÓN DEL ENTRENAMIENTO	<p>Criterios aceptados de calidad de movimiento.</p> <p>Pruebas o test simples de campo, sin tomar casi decisiones, ya que se planifica, periodiza y programa en macrociclos sin dar opción a cambios.</p> <p>Se aplican un rigor próximo al diseño experimental.</p>	<p>Se registran variables fisiológicas internas (laboratorio y campo) que permiten conocer y evaluar estados y efectos de entrenamiento de resistencia.</p> <p>Se registran variables externas de fuerza y velocidad de desplazamiento.</p> <p>Impera el diseño pre- / post- para la retroalimentación en inter-periodos, bloques o ciclos.</p>	<p>Monitorización continua de variables internas (fisiológicas; autopercepción; psicológicas; etc.) y externas (neuromecánicas; conductuales en entrenamiento y en competición; etc.).</p> <p>Análisis sinérgico de las observaciones y registros para la toma de decisiones.</p> <p>Programación como continuum (síntesis/retroacción/decisión) a partir de registros diarios y/o en microciclos, dentro del marco de la periodización y planificación preestablecida.</p>

SESGOS DE INVESTIGACIÓN Y SESGOS DE APLICACIÓN PRÁCTICA

Hay muchas investigaciones dedicadas al entrenamiento del esprint, pero son muy escasas las que estudian programas y casos reales sobre el rendimiento a nivel de competición internacional. El objetivo de una de las mejores y últimas revisiones (Haugen et al., 2019) es integrar la literatura científica y de mejores prácticas con respecto al entrenamiento y desarrollo del rendimiento en esprint de élite, informando que en cuanto a cómo se aplican los principios y métodos de entrenamiento existe una brecha considerable entre la ciencia y las mejores prácticas de entrenamiento del esprint.

Disfunciones y sesgos en investigaciones publicadas

Podemos considerar las siguientes disfunciones y sesgos en las publicaciones en revistas científicas sobre el entrenamiento de esprints:

- **Muestra:** predominan estudios con estudiantes, deportistas jóvenes y de deportes de equipo. A penas hay estudios con mujeres. Apenas hay estudios de mujeres u hombres deportistas de máximo nivel
- **Metodología:** programas evaluados de “talla única” y a veces opacos, poco comparables por insuficiente definición y/o muy diferentes, no pudiéndose identificar con rigor la identidad y magnitud real del carácter del esfuerzo, gama: de distancias o duración de esfuerzos, intensidades, recuperaciones, densidad del esfuerzo, etc. Organización de sesiones, de microciclos y de ciclos. Suelen ser estudios aislados de no más de 8 a 12 semanas. Los objetivos tienen un foco restringido analítico. Casi son inexistentes estudios longitudinales. Se asemejan al método experimental que tiende a centrarse en respuestas grupales, mientras que el entrenamiento se enfoca a las respuestas individuales.
- **Resultados:** sesgo de publicación en favor de resultados positivos. Sesgo por el estado de forma y nivel de rendimiento de los sujetos.
- **Buenas prácticas y prácticas de éxito:** dentro de las mejores prácticas, existe un vínculo fuerte entre la elección del método de entrenamiento y el objetivo previsto de la sesión de entrenamiento, así como su encadenamiento adaptativo a lo largo de las sesiones y las semanas. Hay muy pocos estudios de los agentes participantes con o sin la participación de otros investigadores.
- **Prácticas de éxito no confiables:** existen documentos y publicaciones cuyo contenido solo se valida en el resultado deportivo de éxito, algunos con el paso del tiempo quedan invalidados por cuestiones diversas, una de ellas por el uso de sustancias prohibidas detectadas posteriormente.

¿Qué piensan los entrenadores?

Fue estudiada la visión del conocimiento de los entrenadores de atletismo (Whelan et al., 2016), respecto al uso de ejercicios de velocidad para mejorar el rendimiento, lo cual requiere un cierto nivel, tanto sobre los ejercicios como de su especificidad, respecto a los patrones de movimiento del esprint y a las activaciones musculares, que fundamenten su elección para mejorar el desarrollo del movimiento y la coordinación óptimos de la técnica de esprint. Sin embargo, hay estudios que han sugerido que algunos de los ejercicios más utilizados pueden ser cuestionables ya que es posible que no repliquen las activaciones musculares o el patrón de movimiento del esprint. El estudio de Whelan et al. (2016) se realizó con una muestra de 209 entrenadores de varios niveles que completaron un cuestionario en línea, donde se registraron las razones de elección de cada ejercicio y las razones para cambiar los ejercicios utilizados, fueron analizados utilizando métodos cualitativos y cuantitativos. La elección de los entrenadores para seleccionar los ejercicios se basaba principalmente en lo que hacían otros entrenadores más que en la evidencia científica sobre las prácticas de entrenamiento. Los entrenadores pensaban que para el aprovechamiento del efecto de los ejercicios era un aspecto muy importante el entrenamiento técnico, siendo necesario que se realicen correctamente y que imiten el esprint. Los ejercicios más elegidos fueron los saltos.

En un estudio (Healy et al., 2021) se buscó saber por qué los entrenadores de velocidad prescriben entrenamiento de fuerza a sus atletas, qué ejercicios seleccionan y qué factores están involucrados en la decisión de elegirlos. Analizaron las respuestas de los entrenadores que cumplía con los criterios de calidad previstos, resultando una muestra de 41 (de 73) entrenadores de esprint con una experiencia como entrenador de $8,4 \pm 6,4$ años, que completaron un cuestionario en línea. Los entrenadores prescriben entrenamiento de fuerza (contra resistencia externa añadida) a sus atletas de velocidad para desarrollar fuerza y potencia, a partir que los entrenadores asumen que los efectos se transferirían al rendimiento de esprintar. Los entrenadores prescribieron una amplia variedad de ejercicios tradicionales, balísticos y pliométricos, siendo el salto sobre vallas el ejercicio más prescrito (93% de los entrenadores encuestados). Los entrenadores seleccionan los ejercicios por diversas razones, las más destacadas fueron, por estimar adaptaciones de desempeño, por su practicidad y, por último, por la focalización en los músculos/grupos de músculos implicados en el esprint. Los entrenadores priorizaron

ejercicios que desarrollaran específicamente fuerza, potencia y fuerza reactiva en sus atletas de esprint.

Existen muy pocas investigaciones que comprenda la periodización del entrenamiento y analizar cómo influye en el rendimiento del esprint en un período de entrenamiento prolongado en atletas de élite especialistas en esprint. Bezodis et al. (2018) estudiaron a cuatro velocistas durante 5 meses de entrenamiento. Las velocidades, longitudes y frecuencias de los pasos de la fase de velocidad máxima de los sprints de entrenamiento se midieron a partir de imágenes de vídeo. Se calcularon los valores medios para cada atleta en cada sesión, y se realizaron 139 comparaciones entre sesiones de cada atleta con un análisis de varianza de medidas repetidas. A medida que avanzaba el entrenamiento, se mantuvo un vínculo en los cambios en la velocidad y la frecuencia de los pasos. La longitud media de los pasos de la sesión dentro de cada atleta se mantuvo relativamente constante durante todo el proceso. Se produjeron reducciones en la velocidad y frecuencia de los pasos durante las fases de entrenamiento contra resistencias externas (pesas) y de carrera de alto volumen, con aumentos posteriores en la velocidad y frecuencia de los pasos durante las fases de bajo volumen y trabajo de esprint de alta intensidad. Informan Bezodis et al. (2018) de la importancia en el rendimiento de los cambios en la frecuencia de los pasos a lo largo de meses de entrenamiento de los velocistas que estudiaron. Los mecanismos neuromusculares subyacentes requieren más investigación, pero probablemente se explican por un aumento en la capacidad de producir fuerza seguido de un aumento en la capacidad de producir esa fuerza en menos tiempo de aplicación.

Hammes et al. (2022) definen para deportes de élite el ciclo Sentido-Modelo-Planificación-Actuación (SMPA). El bucle comienza al recibir información (S) de carga interna o externa y, con esos datos, se crea un modelo (M), a partir del cual se puede optimizar la planificación del entrenamiento (P). Por último, se realiza la retroalimentación con el técnico o con el deportista, actuando o interactuando (A) con el contexto específico de cada caso real. El profesor Carlo Vittori desde principios de los años 70 del S. XX, a partir de los numerosos datos en saltos verticales recogidos con esprinters de élite mundial de diversos países, enunció un Modelo Interpretativo de Vittori (MIV) de la relación entre las manifestaciones de la fuerza de cada tipo de salto (SJ, CMJ, CMJA, 1RJ) con la velocidad en cada segmento de la carrera de 100 m lisos (Figura 2), en español de divulgó en diversos trabajos incluido alguno del propio Profesor Vittori (1990). En el sentido de Thomas S. Khun, el MIV ha pasado a ser una referencia paradigmática en el actual conocimiento general de las relaciones entre las manifestaciones de la fuerza y las fases de un esprint.

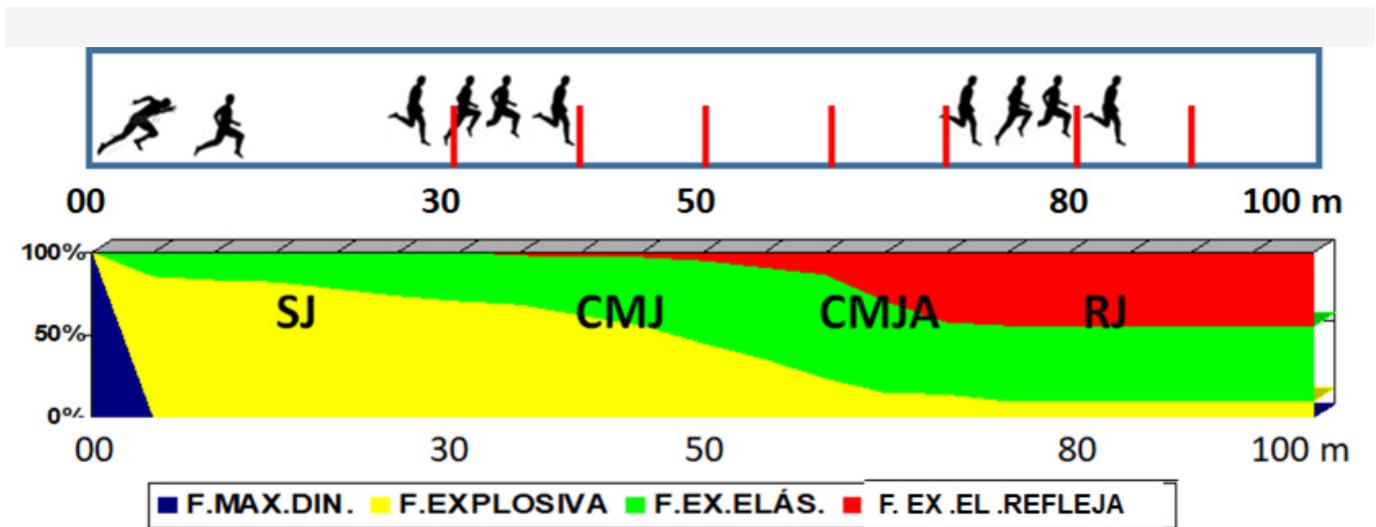


Figura 2. MIV (Modelo Interpretativo de Vittori) que asociaba los de rendimientos en cada tipo de salto con la velocidad en cada parte de la carrera de 100 m lisos

El MIV fue contrastado en la distancia de 30 metros (cronometrados parciales cada 10) para una muestra de ambos sexos de 1.350 escolares de 6-17 años (Martín Acero, 1999), informando que la altura alcanzada en los cuatro saltos verticales estudiados tenían una asociación estadística alta y significativa tanto con la velocidad media de los 30 m como con de cada parcial (00-10; 10-20; y 10-30) y que, al considerar el valor más alto de los coeficiente de correlación, se encontró que con la velocidad (v) 00-10 los mayores fueron CMJ y SJ, con la v10-20 fueron CMJ y CMJA y con la v20-30 fue 1RJ, mostrándose así eficaz el Modelo Interpretativo de Vittori (MIV) también en 30m, para escolares entre 6 y 17 años, pudiendo ayudar en la aplicación práctica de docentes y entrenadores para los objetivos de esprint de cada escolar en su contexto (Figura 3).

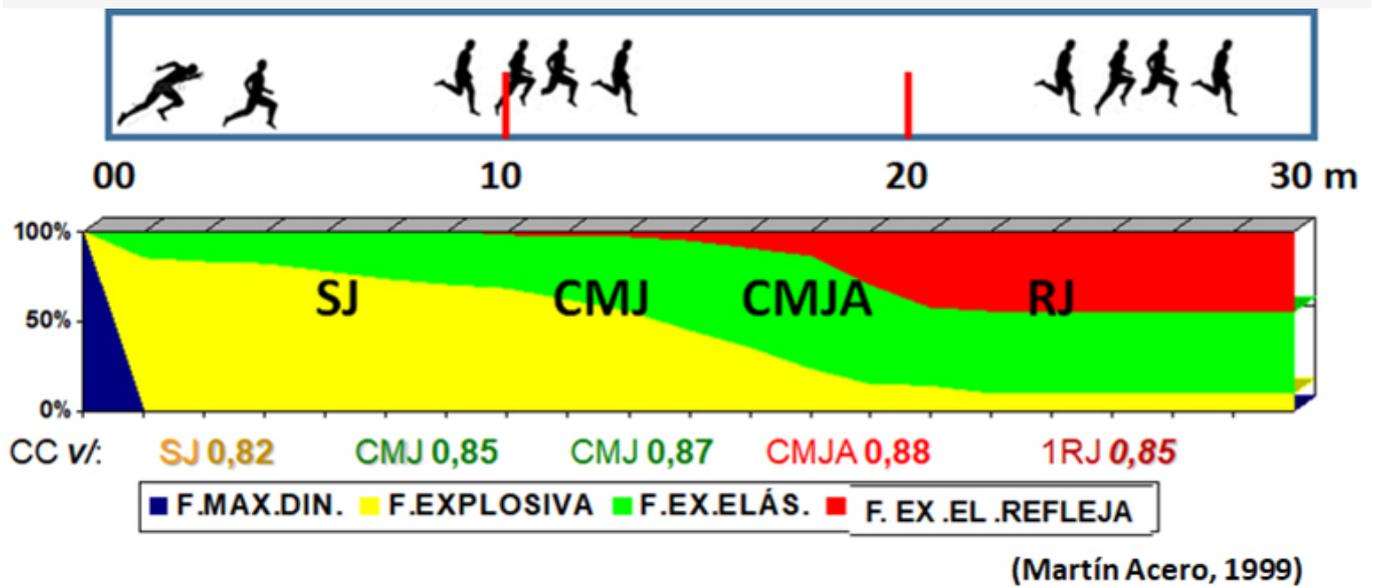


Figura 3. En escolares de ambos géneros entre 6 y 17 años de ambos sexos, muestran la asociación la altura máxima alcanzada en cada uno de los cuatro tipos de salto vertical con la velocidad con cada segmento de la carrera (00-10; 10-20; 20-30) de 30m, concordando con el MIV (Modelo Interpretativo de Vittori) expresado para atletas de élite en 100 metros lisos (Martín Acero, 1999).

El MIV está generando recientemente más estudios, por ejemplo, el de Loturco et al. (2018) que estudiaron las asociaciones significativas entre SJ y CMJ con las velocidades hasta 150 m, resultando ser CC entre muy grandes y casi perfectos (Figura 4).

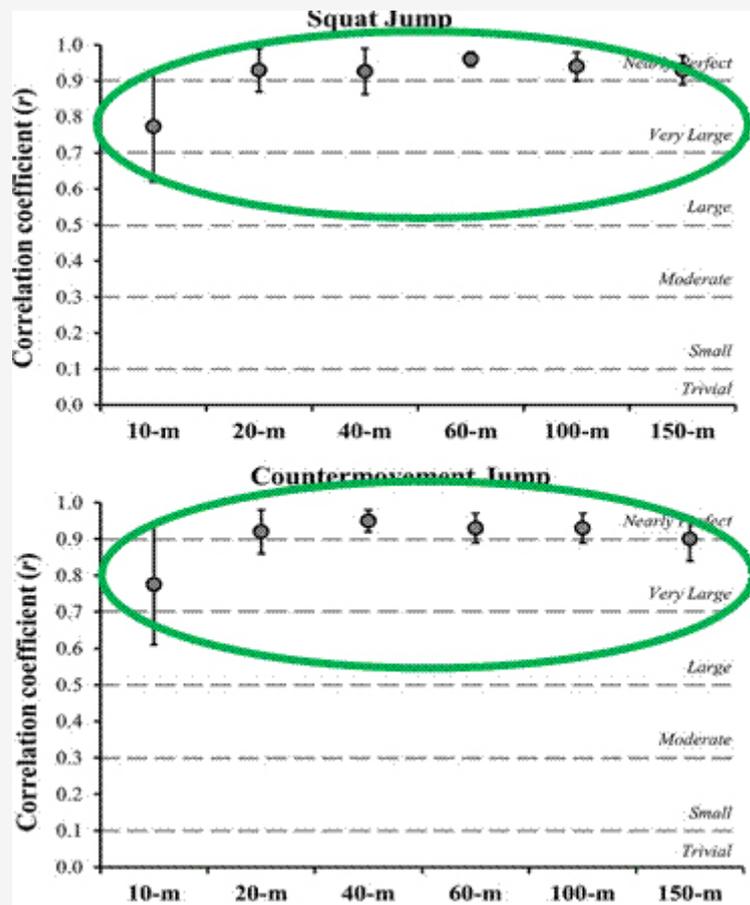


Figura 4. Correlaciones (límites de confianza del 90%) entre las velocidades de esprint para las diferentes distancias evaluadas y SJ y CMJ. $P < 0,05$ para todos los coeficientes de correlación. (Loturco et al., 2018, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201475>)

Otro ejemplo de investigación que enriquece el MIV es el de Möck et al. (2021), que encontró asociaciones significativas entre los tiempos parciales cada 5 m, hasta 30m, con SJ, CMJ (Figura 5).

	SJ	CMJ
T 5m	-.671*	-.693*
T 10m	-.722*	-.746*
T 15m	-.741*	-.766*
T 20m	-.658*	-.652*
T 25m	-.763*	-.813*
T 30m	-.763*	-.793*
T 5-10m	-.723*	-.747*
T 10-15m	-.756*	-.783*
T 15-20m	-.769*	-.812*
T 20-25m	-.757*	-.805*
T 25-30m	-.790*	-.834*

Figura 5. Correlaciones significativas ($p < .01$) para la altura del salto vertical con todas las secciones de sprint ($r = -.652$ a $-.834$). (Möck et al., 2021, DOI: 10.37393/JASS.2021.02.2)

Möck et al. (2021) comunicaron las asociaciones significativas entre los tiempos parciales hasta 30m, con el RSI[1] de saltos verticales (DJ) de caída desde 16 hasta 48 cm, observaron que la intensidad de asociación mayor fue entre el esprint y en el DJ con caída desde 40 cm, y los valores mayores en fase de velocidad lanzada máxima con T15-20 y con T20-25 (Figura 6). Estos resultados concuerdan con el MIV para élite de esprint y con el MIV en escolares (Martín Acero, 1999).

	RSI 16	RSI 24	RSI 32	RSI 40	RSI 48
T 5m	-.379*	-.441*	-.454*	-.498*	-.403*
T 10m	-.412*	-.458*	-.504*	-.533*	-.437*
T 15m	-.424*	-.471*	-.524*	-.554*	-.458*
T 20m	-.425*	-.478*	-.542*	-.569*	-.476*
T 25m	-.418*	-.472*	-.530*	-.559*	-.449*
T 30m	-.431*	-.489*	-.561*	-.586*	-.497*
T 5-10m	-.415*	-.438*	-.521*	-.528*	-.441*
T 10-15m	-.434*	-.480*	-.550*	-.581*	-.485*
T 15-20m	-.410*	-.478*	-.572*	-.594*	-.519*
T 20-25m	-.413*	-.490*	-.566*	-.588*	-.484*
T 25-30m	-.434*	-.488*	-.552*	-.566*	-.468*

Figura 6. Correlaciones significativas ($p < .01$) de RSI con caída de diferentes con todas las secciones de esprint. El rendimiento del DJ (RSI) mostró correlaciones significativas ($p < .01$) con todas las secciones ($r = -.379$ a $-.594$). (Möck et al., 2021, DOI: [10.37393/JASS.2021.02.2](https://doi.org/10.37393/JASS.2021.02.2))

Efectos de diferentes condiciones de entrenamiento sobre el rendimiento del esprint

En algunas revisiones de investigaciones se ha identificado el efecto de esprints realizados en diferentes condiciones.

Uno de estos estudios (Rumpf et al., 2016) analizó 48 investigaciones, sumando más de 1.400 sujetos de diferentes orígenes deportivos, considerando como entrenamientos no específicos los de fuerza, potencia, y pliométricos, y entrenamientos específicos los esprints libres (sin ninguna carga, en superficie plana), los esprints contra resistencia añadida (trineos, bandas o una pendiente ascendente), y los esprints asistidos (dispositivo de remolque, pendiente descendente). Informaron que el efecto de los ejercicios de entrenamiento específicos tendió a disminuir con el aumento de la distancia. Los mayores efectos de los entrenamientos no específico se observaron para las distancias mayores (31+ m). El entrenamiento combinado reveló mayores efectos para la distancia de 10 m. Métodos y ejercicios de entrenamiento no específicos como los de fuerza contra resistencias externas añadidas y de también aportan mejoras de la velocidad.

Una revisión sistemática y un metanálisis sobre los efectos del entrenamiento de esprints repetidos (RST) incluyó 40 publicaciones con datos de grupos experimentales (541 deportistas) y de control (213 deportistas), informa (Thurlow et al., 2023) que los programas RST se caracterizaron por esprints de ≤ 10 s de duración, recuperaciones de ≤ 60 s, realizados durante 2 a 12 semanas, y se evaluaron sus efectos respecto a un programa RST de referencia de carga externa en 3 series de esprints en línea recta, de 6 repeticiones de 30 m, en dos sesiones por semana, durante 6 semanas. Los programas RST fueron eficaces en la mejora en deportistas entrenados de la condición física en diversas variables como la velocidad en esprints de 10 y 20 m, la mejora moderada del $VO_{2\text{máx}}$, la mejora del tiempo promedio de la habilidad de repetir esprints (RSA), la capacidad de cambios de dirección (COD) y la altura del CMJ. También se informa que no hay resultados concluyentes respecto a la manipulación de las variables del RST (Figura 7), por tanto, se necesitan más investigaciones sobre las variantes de la programación RST para aumentar significativamente adaptaciones de condición física.

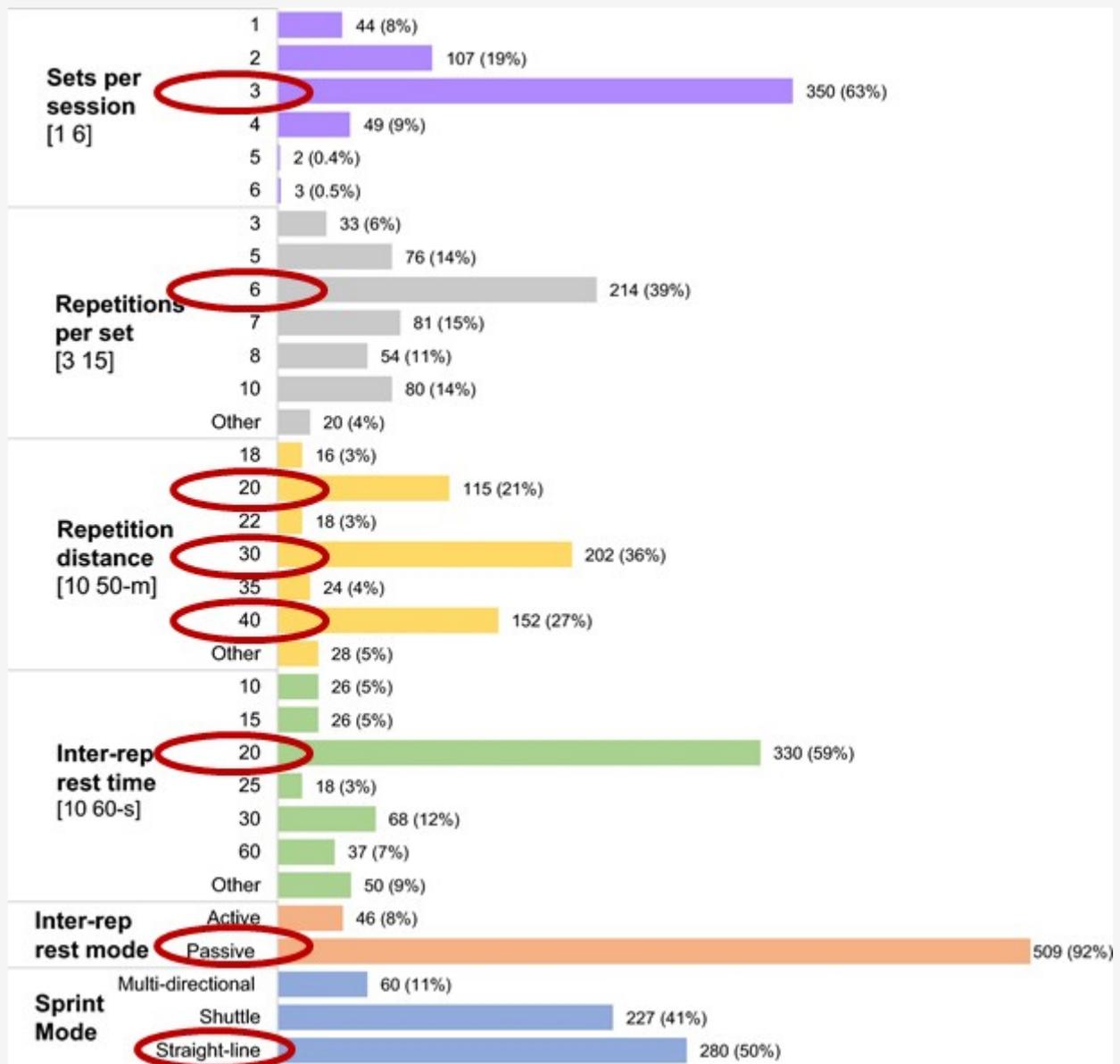


Figura 7. Distribución de la prescripción de RST en las 567 sesiones. Los datos se dan como el número total de protocolos representados (porcentaje) [rango].

Nota: «varios» indica sesiones que se prescribieron con diferentes combinaciones de una variable de programación, por ejemplo, esprints de 20 m en la primera serie y esprints de 30 m en la segunda serie (Thurlow et al., 2023).

Siguiendo la propuesta de realizar investigaciones sobre la realidad práctica, una de las más recientes se ha realizado sobre las decisiones de entrenadores olímpicos de esprint y de saltos esprint de Brasil (Loturco, et al. 2023), informando que los entrenadores utilizan una amplia gama de métodos de entrenamiento de la velocidad, tanto en forma aislada como combinada. Encontrando también puntos críticos o de confrontación entre investigaciones y el uso práctico de algunos ejercicios.

Diferencias en esprints y en saltos explosivo-elástico-reflejos en hombres y mujeres

Realizando la prueba de Wingate de 30 s, 17 hombres y 10 mujeres, se les hicieron biopsias musculares, antes e inmediatamente después del ejercicio, y a los 30 y 120 minutos de recuperación, llegando a la conclusión (Fuentes et al, 2012) que la respuesta del músculo esquelético a una sola repetición de esprint prolongado (30 s) no resultó estadísticamente diferente entre hombres y mujeres. En otro estudio, se evaluó en hombres y mujeres jóvenes y activos, el efecto de entrenar esprints de 30 s en cicloergómetro, 3 veces por semana, durante 4 semanas (Esbjörnsson et al., 1996),

encontrando que la potencia media y el área de la sección transversal de las fibras tipo IIB (que desarrollan potencia y se fatigan pronto) aumentaron más en las mujeres, a la vez que se registró un aumento en la actividad total de lactato deshidrogenasa (LD) después del entrenamiento en ambos géneros, aunque los niveles fueron más bajos en las mujeres, tanto antes como después del entrenamiento.

En un reciente estudio se obtuvieron registros representativos de rendimiento de fuerza explosivo-elástico-refleja (*FExER*) en dos tipos de saltos verticales realizados durante la activación previa (calentamiento) a competir en 60 m y de 200 m del Campeonato de España Indoor. Estos resultados son un primer estudio exploratorio, y así hay que entender sus resultados, entre otros una primera estimación del equilibrio o desequilibrio en el rendimiento neuromuscular de la cadena cinética del esprint, al considerar el rendimiento de los miembros inferiores en dos tipos de saltos verticales que representan el trabajo más implicado en las estructuras de la rodilla (CMJA) o del tobillo (1RJ). Se evidenció en ambos géneros la tendencia de mayor rendimiento neuromecánico de las estructuras y respuestas funcionales elástico/reflejas mayormente implicadas en la ejecución de CMJA (Figura 8) que en 1RJ (Martín Acero et al, 2023). La estimación inicial del equilibrio o desequilibrio de la cadena cinética de la carrera de esprint muestra desequilibrio porcentualmente igual en ambos géneros. Sin embargo, al segregar los datos entre quienes eligieron realizar 1RJ con bloqueo de la articulación del tobillo y quienes realizaron flexo/extensión activa, se puede observar (Figura 8) que mientras las mujeres del estudio lograron un equilibrio algo mejor con la técnica de flexo/extensión activa, los hombres la obtuvieron con la técnica de bloqueo. Falta mucha investigación respecto a considerar diferencias de género en los efectos de diversos ejercicios y técnicas de ejecución con incidencia en la mejora del esprint.



Figura 8. Representación del equilibrio de la cadena cinética del esprint en velocistas, estimado porcentualmente a partir del rendimiento neuromecánico en saltos verticales (CMJA y 1RJ) que expresan fuerza explosivo-elástica-refleja (*FExER*).

Gestionar el tiempo de trabajo, la fatiga y la distribución del esfuerzo

Para mejorar los procedimientos de entrenamiento y el control de sus efectos sigue siendo de interés conocer la interacción y la contribución relativa de los sistemas y procesos que operan juntos para satisfacer los requerimientos energéticos musculares durante el esprint, cuya integración es determinante para optimizar el diseño, organización y gestión de los componentes de la carga y de la fatiga como factor limitante de entrenamiento y de rendimiento. El sistema de energía anaeróbica lo compone el proceso que implica la descomposición del fosfágeno de alta energía, la fosfocreatina (PCr), que junto con el ATP almacenado en la célula proporciona la energía inmediata en el inicio del esprint, el otro proceso es el que implica la descomposición no aeróbica de glucógeno muscular, en ácido pirúvico y luego ácido láctico, a través de la glucólisis. Estos procesos son capaces de regenerar altas tasas de ATP, posibilitando una producción de alta

potencia muscular. Sin embargo, la capacidad del sistema anaeróbico, está limitada por la cantidad de energía que se puede liberar en un esprint prolongado o una sesión de repeticiones de esprints ya que, la rápida reducción de PCR almacenada, a la vez que una rápida acumulación de ácido láctico junto a la reducción del pH, provocan la pérdida de intensidad y de potencia. Aunque no le dedicaremos atención en este documento, no hay que olvidar que el sistema de energía aeróbica responde de modo sorprendentemente rápido a las demandas del ejercicio intenso, aunque no será capaz de satisfacer las demandas energéticas al comienzo del ejercicio (Gastin, 2001), pero tendrá interés tenerlo presente para la mejor comprensión y puesta en práctica de actividades más eficaces.

El sistema anaeróbico tiene dos componentes, ATP-PCr (aláctico o hipoláctico) y glucolítico (láctico), pero hay que tener presente que la evaluación de la liberación de energía anaeróbica durante el esprint es menos precisa que la aeróbica, y menos precisa en esprints en campo que en situación experimentales o de control mayor en laboratorio. Asumiendo esta limitación y, teniendo presente que los sistemas de energía responden a las exigencias del esprint singular, o repetido, de una manera no secuencial, en la aplicación práctica, tanto investigadores como entrenadores, tenemos la necesidad de conocer y gestionar con la mayor precisión posible las respuestas individuales al esprint singular-**PR**-, a los esprints repetidos -**RST**- o a esprints en series de repetición -**SR**- (en el caso de deportes intermitentes, también será de interés identificar efectos sobre la habilidad para repetir esprints -**RSA**-).

Control cuantitativo para tomar decisiones sobre la distancia de esprint y número de repeticiones

A considerar necesario y pertinente investigar específicamente matices del metabolismo energético anaeróbico, a través de lactato sanguíneo, en las carreras de esprint en atletismo, se realizaron diversas investigaciones (Rodríguez, Martín-Acero, Povill, 1986; Rodríguez, Martín-Acero, 1988) obteniendo datos experimentales en un test de campo (Figura 9, izquierda) sobre la dinámica de activación anaeróbica en función de la duración del esprint y poder así identificar la transición de aláctica o hipoláctica a láctica en jóvenes esprinters de ambos géneros (Figura 9, derecha).

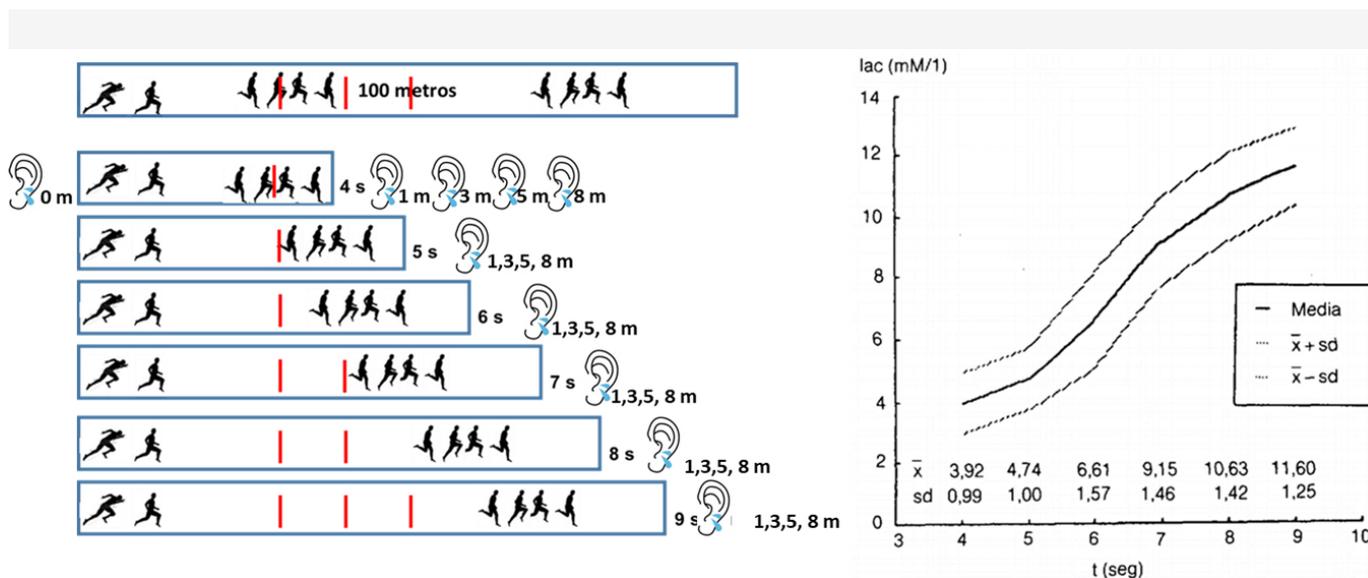


Figura 9. Rodríguez F, Martín-Acero R, Povill J M (1986). La resistencia en jóvenes velocistas: Estudio piloto y protocolo para control del umbral aláctico/láctico. "1º Congreso de Planificación y Control del Entrenamiento». INEFC Lérida.

Los resultados de las investigaciones de Rodríguez et al. (1986) y Rodríguez et al. (1988) y otras, también con lactato sanguíneo (Mahler, 1990, en Grosser, 1992), o con biopsias musculares a velocistas masculinos adultos (Hirvonen et al., 1987), han facilitado y reforzado la posibilidad de realizar protocolos de campo para la obtención de datos del perfil de la dinámica de activación anaeróbica en función de la distancia/duración del esprint y poder así identificar la transición aláctico/láctica (Figura 10).

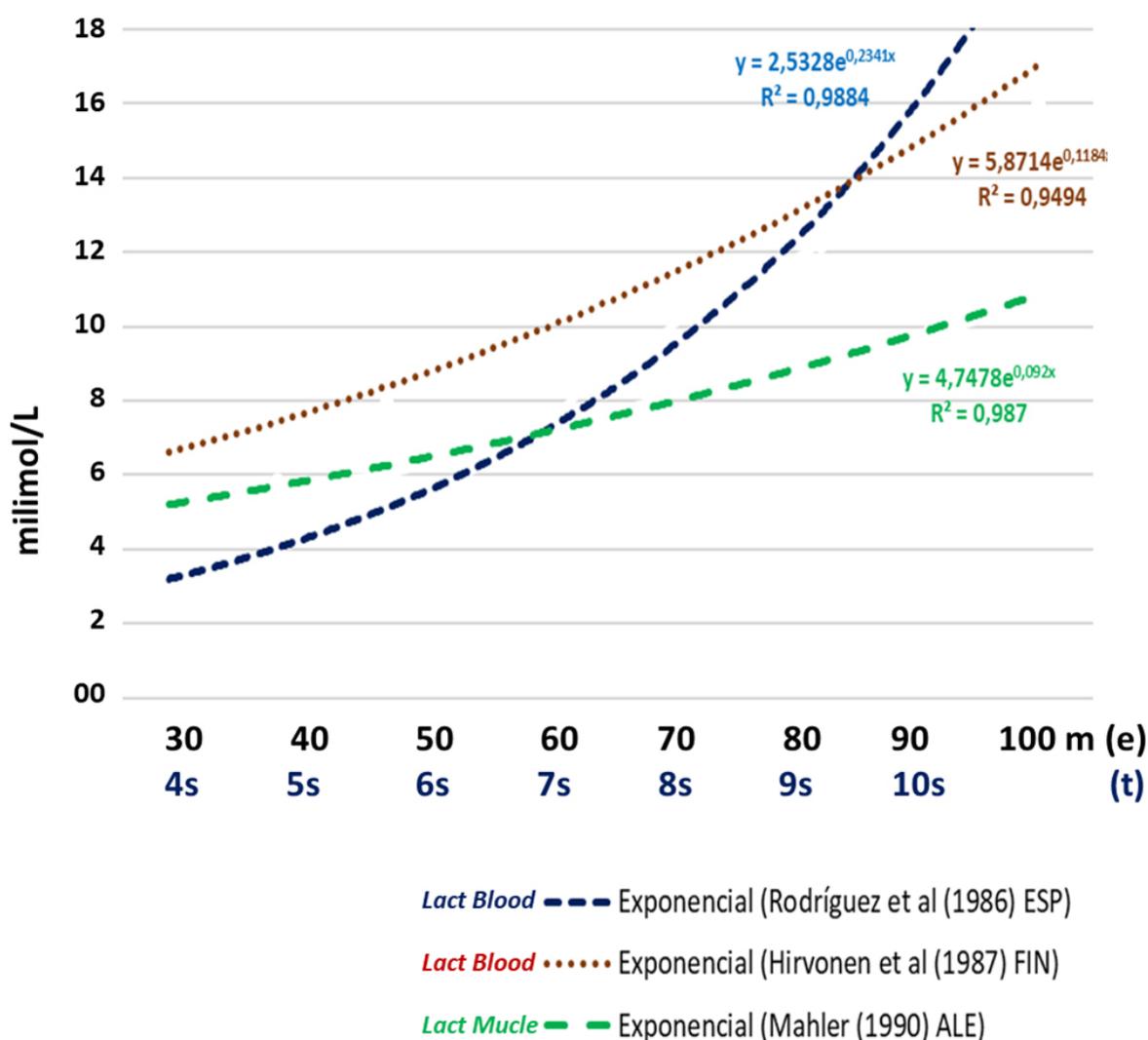


Figura 10. Funciones exponenciales de lactato registrado después de esprints máximos en tres protocolos similares, no idénticos. En el primer estudio realizado (Rodríguez, Martín-Acero, Povill, 1986) se realizaron en una sesión 7 distancias (desde 30 a 90 m) y se registró lactato sanguíneo, se compartió el diseño y resultados con Hirvonen (a través de C. Bosco, Universidad de Jyväskylä) reduciendo el protocolo 4 esprints en una sesión (40, 60, 80 y 100 m), registrando lactato muscular. Algunos resultados del estudio de Mahler (1990) han recogidos en Grosser (1992) pero no fue publicado en su totalidad.

Aplicando el protocolo validado (Rodríguez et al., 1986; Rodríguez et al., 1986) se obtiene resultados que permiten estimar individualizaciones de la carga de entrenamiento, a la vez que se realiza el control y seguimiento de sus efectos sobre la dinámica de activación anaeróbica en función de la duración del esprint y el perfil individual de la transición de aláctica o hipoláctica a láctica, perfiles tan diversos como los que se pueden comprobar de dos mujeres de alto nivel internacional (Figura 11) que, con parecido rendimiento en cuanto a velocidad promedio expresada en las diferentes distancias de esprint con recuperación completa, sin embargo presentan valores de lactato máximo sanguíneo muy diferentes, la carga de entrenamiento no podrá ser igual. A partir de la investigación de Gaitanos et al. (1993) podemos entender que probablemente N. Cooman, que fue la primera mujer en establecer en 7,00 s el record mundial indoor en 60 m, tendría una tasa muy alta de degradación anaeróbica de glucógeno en cada esprint, obteniendo mayor producción de ATP y produciendo y acumulando más lactato que S. Myers (medallista europea y mundial en 400 m, y en 200), aunque obtenían una velocidad media igual, comprobándose que la identidad de la carga externa refleja la magnitud de exigencia de la interna y, por tanto es un indicador muy insuficiente para tomar buenas decisiones de entrenamiento del esprint.

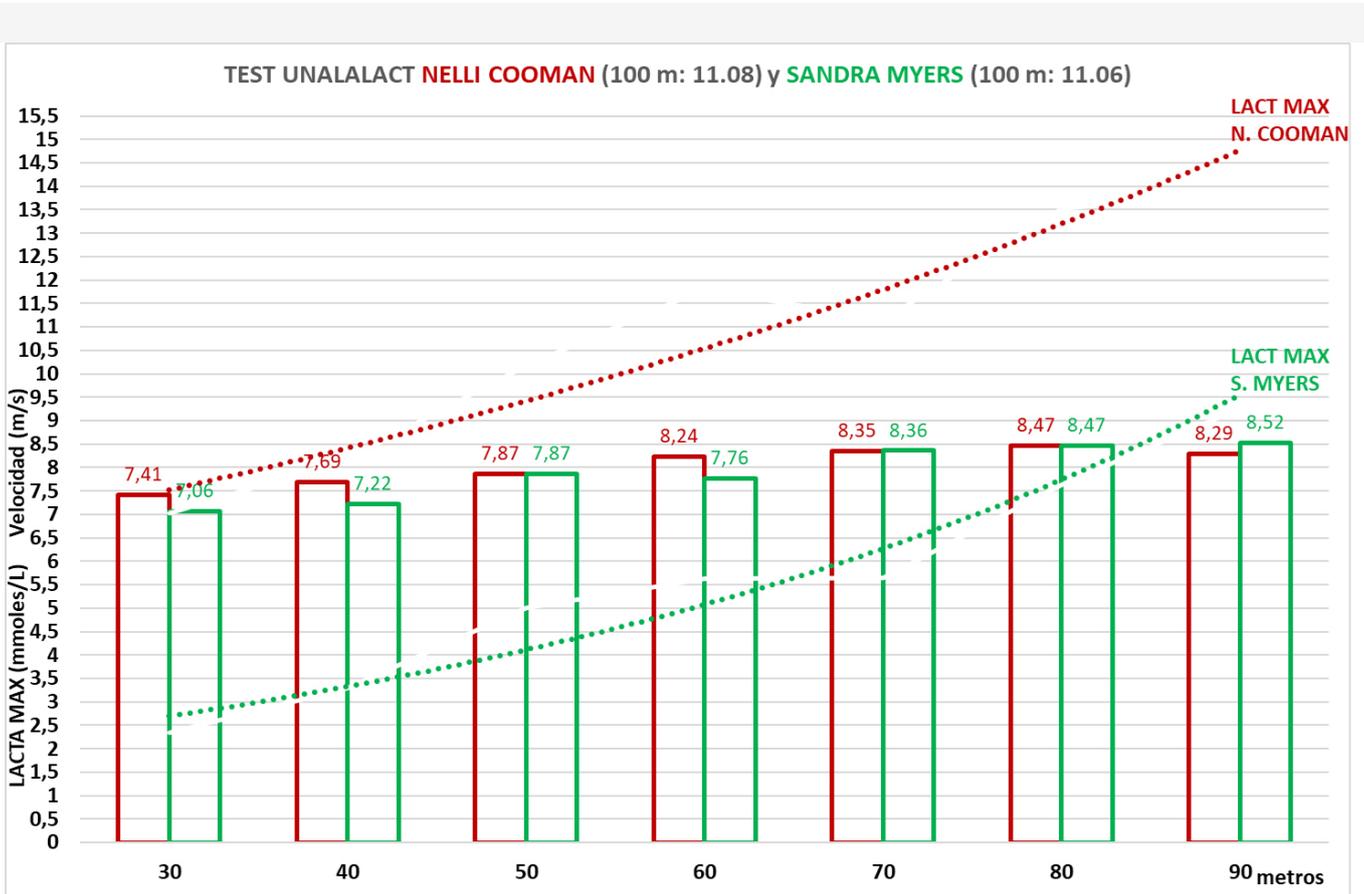
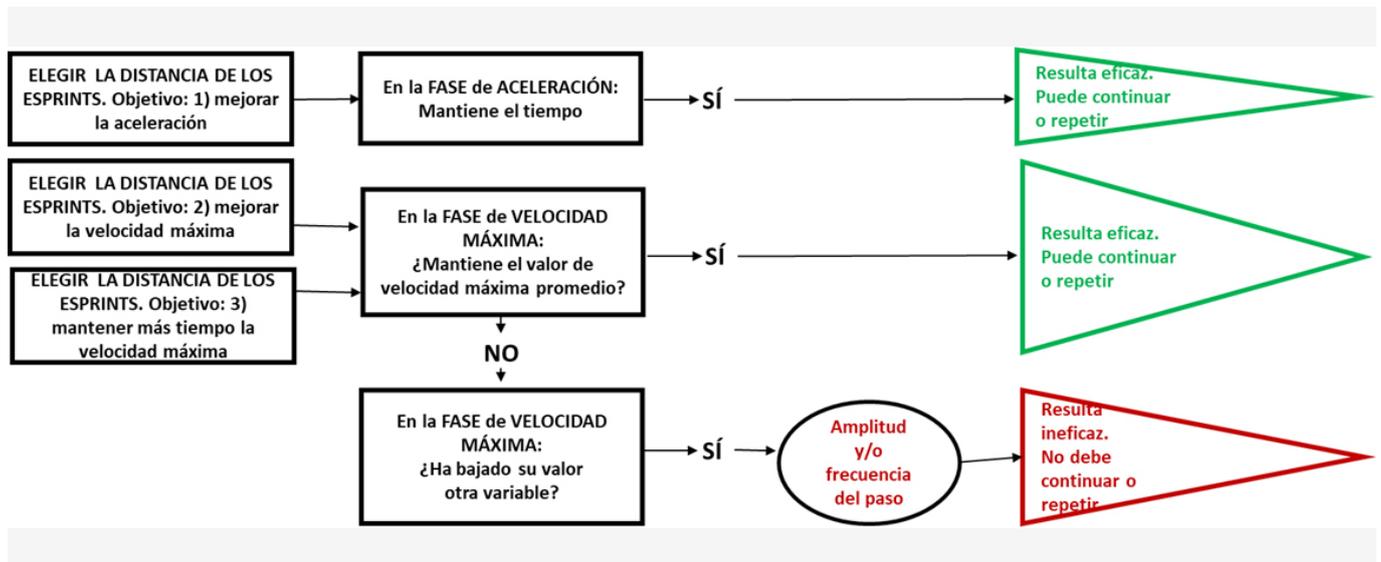


Figura 11. Control de la transición aláctica o hipoláctica/láctica en dos atletas velocistas de alto nivel internacional, con casi el mismo rendimiento en velocidad promedio a partir de 60 m, también con igual tendencia del perfil de la dinámica de lactato máximo, pero con valores de carga interna muy diferentes. En cada distancia, la columna de la izquierda N. Cooman, la de la derecha S. Myers.

Caracterizar la carga de entrenamientos de esprint, sea singular **-PR-**, de esprints repetidos **-RST-** o de esprints en series de repetición **-SR-** exigen conocer la intimidad de las respuestas de cada atleta tanto a nivel cinemático, como dinámico, neuromotor y metabólico. Por ejemplo, se controlará en los parciales que identifiquen diferencias de rendimiento y evolución entre las fases de aceleración, velocidad máxima y de pérdida de velocidad. Para mejorar la aceleración se realizan esprints de hasta 5 s en zona de baja producción de lactato. Para la velocidad máxima en zona de rápida producción de lactato, esprints desde 6 hasta 8 s, que, de acuerdo con Gaitanos et al. (1993) en un primer esprint de 6 s (pedaleando), la energía fue proporcionada por la degradación de PCr y la glucólisis anaeróbica, aumentando el lactato. Para entrenar el mantenimiento de la velocidad máxima, ya en zona de alta concentración de lactato, esprints desde 10-12 s (Rodríguez y Martín Acero, 1988), concordando con Gaitanos et al. (1993) cuando, en un protocolo de 10 esprints de 6 s, con 30 s de recuperación, después del último esprint encontraron que no hubo cambios significativos en la concentración de lactato, pero sí disminución de la potencia mecánica media.

Para el mejor control cuantitativo para tomar decisiones sobre la distancia de esprint y el número de repeticiones, además de biomarcadores o variables de fuerza registradas al finalizar cada esprint, como se verá a continuación, se sugiere que se registren, además del tiempo/velocidad total de cada esprint, los tiempos/velocidades y cinemática de los parciales, identificando así diferencias de rendimiento:



Para la fase de velocidad máxima, después de recorrer una distancia/tiempo para la aceleración, o registrando, por ejemplo, velocidad promedio y/o amplitud promedio/frecuencia promedio de paso, se puede controlar el efecto buscado de poder seguir repitiendo sprints siempre que en esa fase no exista una pérdida significativa de velocidad máxima, probablemente asociada o a una pérdida de amplitud media y/o de la frecuencia del paso.

Una investigación (Jiménez-Reyes et al., 2019) analizó las respuestas mecánicas y metabólicas agudas de velocistas masculinos de alto nivel a una sesión de entrenamiento de sprints de 60 m (con 6 minutos de recuperación), cuyo objetivo era mantener la velocidad promedio en cada repetición del sprints, estableciendo el criterio de continuar realizando sprints **-RST-** hasta el límite de pérdida de velocidad promedio determinada en el 3% respecto al sprint realizado en menos tiempo (Figura 12). Las respuestas mecánicas se estimaron al registrarse tanto la pérdida de altura del salto vertical de contra-movimiento (CMJ), como las respuestas metabólicas (lactato en sangre y concentraciones de amoníaco), medidas antes del ejercicio y después de cada carrera. Analizaron el porcentaje de incremento en el tiempo aplicando:

$$\% \Delta t = \left[\frac{\text{el tiempo más breve en 60 m} - \text{tiempo de la última repetición de 60 m}}{\text{el tiempo más breve en 60 m}} * 100 \right]$$

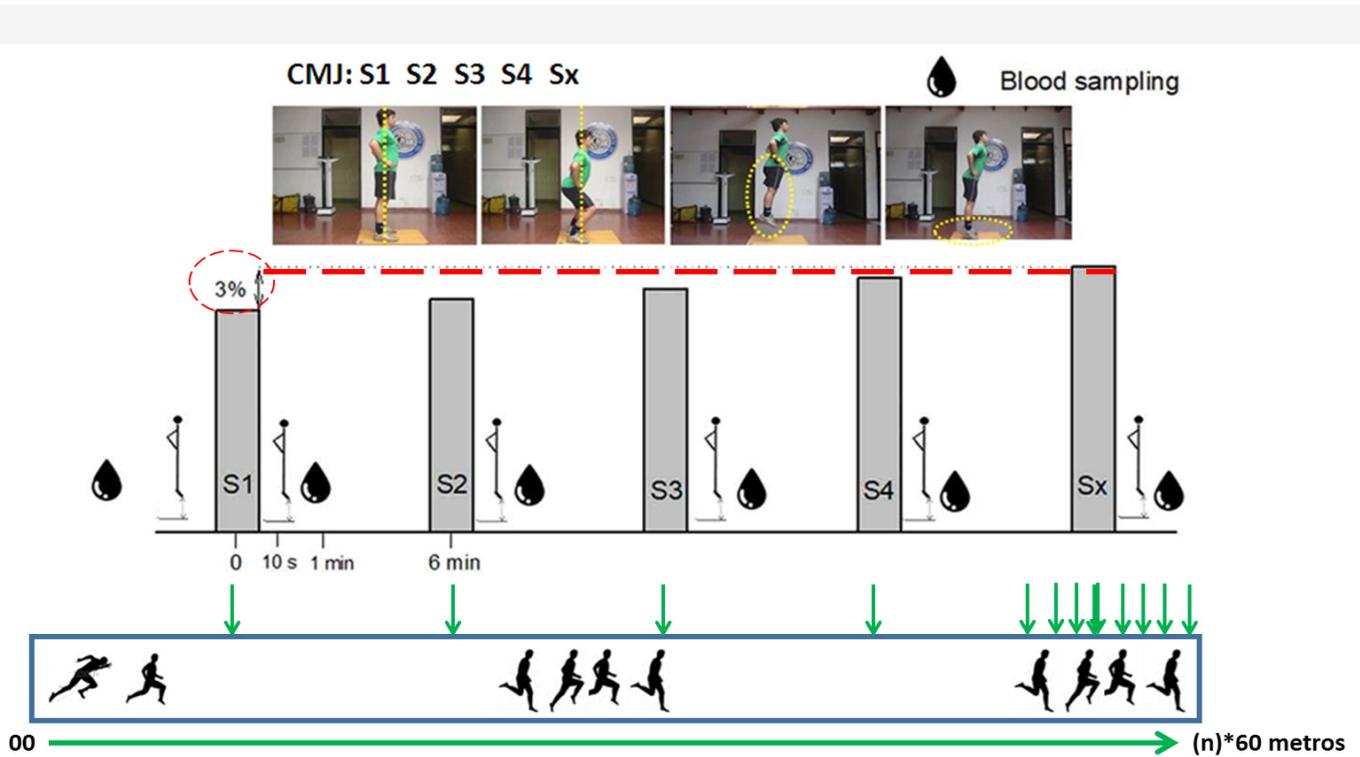


Figura 12. Control de la pérdida de velocidad en repeticiones de ($n= S1, \dots Sx$) 60 m, con 6 minutos de recuperación. Registrando respuestas mecánicas y metabólicas agudas, estableciendo el criterio de continuar realizando sprints **-RST-** hasta el límite de pérdida de velocidad promedio determinada en el 3% respecto al esprint realizado en menos tiempo (Jiménez-Reyes et al., 2019).

La pérdida de altura de la muestra en los saltos mostró relaciones casi perfectas con las concentraciones de lactato y amoníaco. Además, para cada atleta se observaron relaciones casi perfectas entre la pérdida de altura CMJ y el lactato y el amoníaco, también entre la pérdida de velocidad y el lactato y el amoníaco, al igual que para la muestra estudiada.

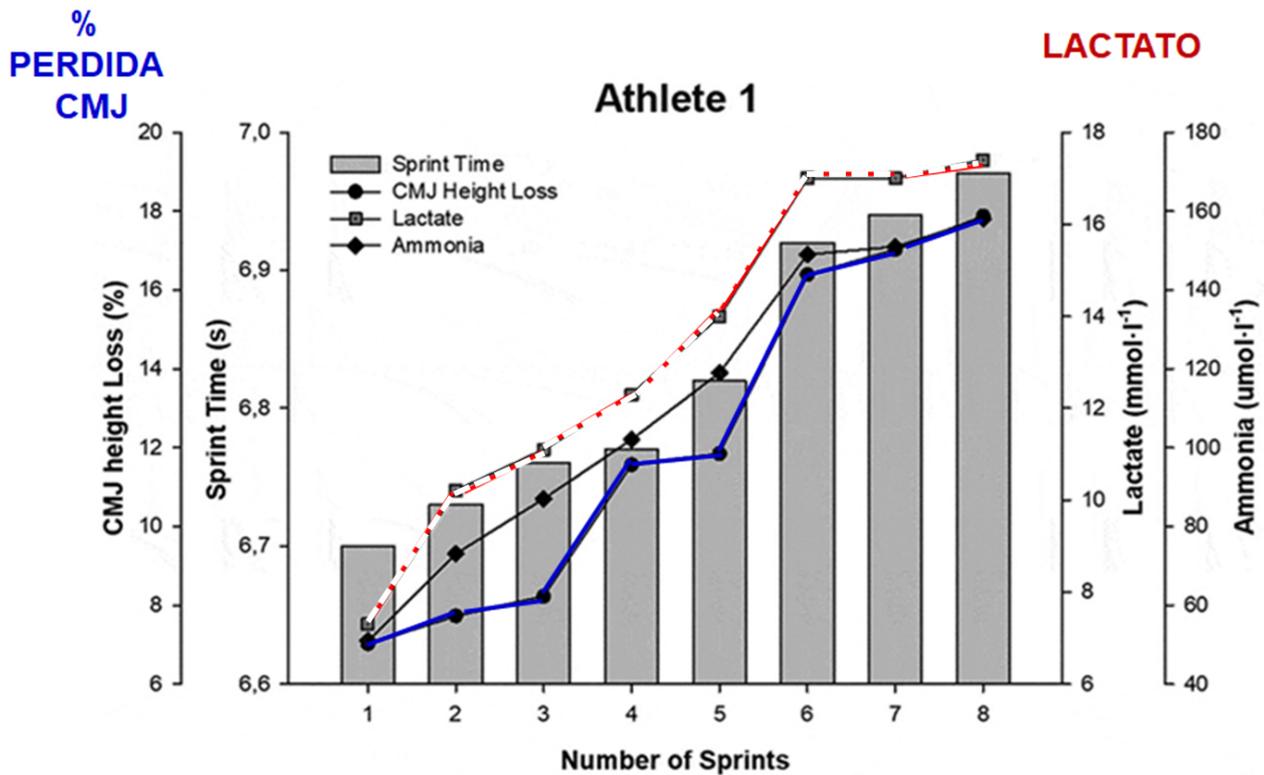
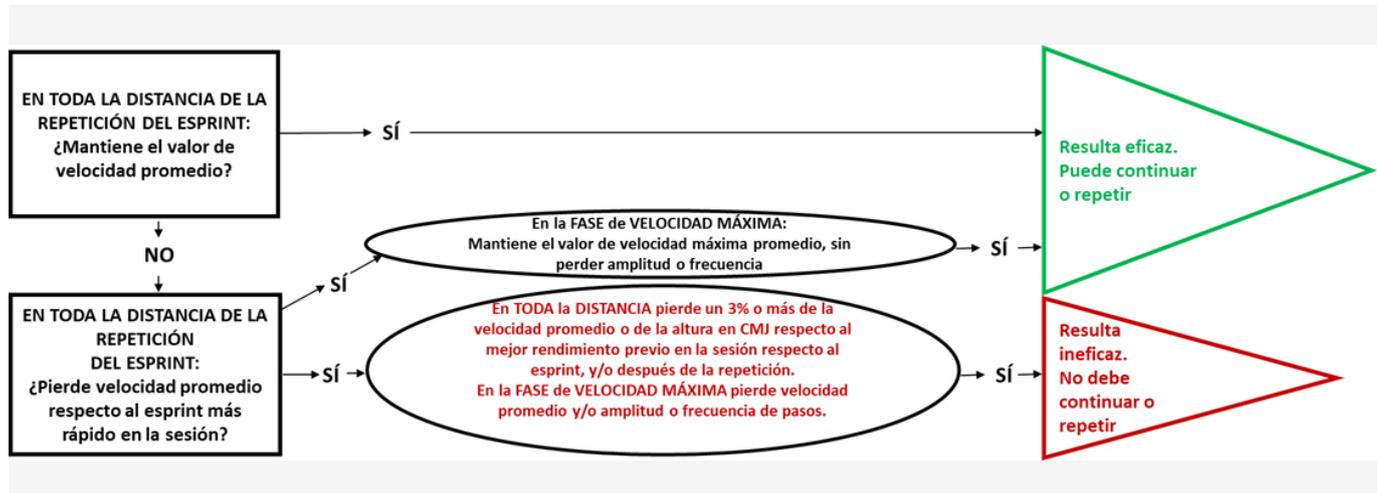


Figura 13. Ejemplo de un atleta representativo: evolución de los tiempos (s) de esprint, la pérdida (%) de altura (CMJ), el lactato ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) y las concentraciones de amoníaco ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$). (Jiménez-Reyes et al., 2019)

Se ha mostrado en este estudio (Jiménez-Reyes et al., 2019) que el uso de la pérdida de altura en CMJ sirve para controlar los efectos inmediatos y parciales del entrenamiento de velocidad, pudiendo así estimar la fatiga mecánica y metabólica, para cada atleta, inducida en la sesión de esprints repetidos. Ayudando a monitorizar las sesiones de entrenamiento de esprints sin la necesidad de medir las concentraciones de lactato o amoníaco en la sangre, pudiendo ajustar bien la dosificación de la carga de entrenamiento, pudiendo decidir cuándo interrumpir las repeticiones (Figura 13).

Para optimizar el control cuantitativo, para tomar decisiones sobre la distancia de esprint y número de repeticiones, los registros y análisis de las respuestas de cada deportista intra- e intersesiones de esprints, orientan el control de los efectos repetición a repetición y de los efectos agregados en cada sesión, realizándose un seguimiento a corto y medio plazo, con las decisiones de retro-programación necesarias. Se asume que después de varios esprints el lactato en sangre y/o músculo reflejará la actividad glucogenolítica de todas las repeticiones, pudiendo atribuir a la gran disminución de potencia mecánica media en los últimos esprints a la reducción del rendimiento energético del metabolismo anaeróbico en favor del aeróbico (Gaitanos et al, 1993). Como ejemplo, a partir de todos los estudios citados, considerando la referencia del comportamiento de las pérdidas de velocidad, amplitud del paso o altura en CMJ a lo largo de las repeticiones de esprints, según sean los objetivos y el estado de forma específica del deportista, se sugiere el siguiente flujograma decisonal:



En un esprint de más de 6 s la relación frecuencia/amplitud del paso alcanza valores altos e interdependientes de eficiencia entre la técnica o fuerza útil aplicada y el metabolismo involucrado. Existe base científica suficiente para asumir que esa eficiencia tiende a disminuir cuando el ciclo estiramiento-acortamiento (CES) se ve comprometido en las etapas finales de la carrera debido a alteraciones periféricas y centrales en el mecanismo de contracción muscular, no solo por cambios en biomarcadores como el Ph, lactato o amoniaco. Para desarrollar un mayor rendimiento, perdiendo menos velocidad o pudiendo repetir otra vez un esprint máximo, también es necesario definir la dirección y el control del entrenamiento a corto y medio plazo. El profesor Vittori (1976, 1995; y Vittori et al., 1995) informó que en la fase de pérdida de velocidad al final de un sprint «la intervención del sistema nervioso central (SNC) es decisiva y, si se exige al máximo, puede no ser capaz de mantener su plena eficacia en esprints largos», esta hipótesis plausible se está verificando por los avances en neurofisiología, por ejemplo, ya se sabe que en sujetos adaptados la reducción del rendimiento de la contracción voluntaria máxima (MVC) en un esprint prolongado se debe principalmente a mecanismos del sistema nervioso central (SNC), que regula y armoniza todas las funciones que influyen en el rendimiento mediante la regulación aferente y eferente de la homeostasis en ese tipo de esfuerzos (Fernández-Del-Olmo et al., 2013; Calbet et al., 2015; Morales-Alamo et al., 2015). También se ha sugerido que este control central se basa en un mecanismo anticipatorio provocado por el esfuerzo percibido y que el deportista puede controlar la velocidad del esfuerzo y regular el gasto energético. Por tanto, al tener la fatiga percibida efectos de sobre el comportamiento estratégico y los parámetros cinemáticos, se deben controlar en sesiones de entrenamiento con velocidades cercanas y/o superiores al nivel de competición mediante repeticiones que sitúen al deportista en la zona de fatiga central y periférica igual o superior a la de la especialidad (Martín Acero et al., 2017). En las últimas décadas algunas tendencias de entrenamiento han sesgado adecuadamente hacia privilegiar la calidad de las cargas, no exenta esta tendencia de infravalorar el volumen necesario para consolidar los objetivos dependientes del SNC, tanto metabólicos, neuromecánicos como psicológicos, que una vez alcanzados permitan al deportista expresar el nivel máximo de producción de energía con control de la fatiga durante los esprints.

ENTRENAMIENTO DEL ESPRINT, CONOCIMIENTO EN LA LITERATURA CIENTÍFICA Y DE LAS MEJORES PRÁCTICAS

Con respecto al entrenamiento y desarrollo del rendimiento de esprint de élite, para valorar la integración entre la literatura científica y las mejores prácticas realizaron una revisión (Haugen et al., 2019) que describió la posible concordancia en la consideración de los principios de entrenamiento más utilizados (progresión, especificidad, variación/periodización e individualización), también la comparación del uso de los métodos de entrenamiento (por ejemplo: sprint/carrera, entrenamiento técnico, fuerza/potencia, entrenamiento pliométrico). Se constató que existe una brecha considerable, en cómo se aplican los principios y métodos de entrenamiento, entre las investigaciones publicadas y las mejores prácticas. La mayoría de las investigaciones relacionadas con el sprint se realizan en atletas jóvenes de deportes de equipo tienen un enfoque de «talla única», con esprints breves y recuperaciones cortas. Sin embargo, los velocistas de élite realizan esprints/carreras en una amplia gama de distancias y con diferentes intensidades y períodos de recuperación, muestran un vínculo mayor entre la elección del componente de entrenamiento (modalidad, duración, intensidad, recuperación, ritmo de la sesión) y el objetivo previsto de la sesión.

Ahora se presenta el resumen de la revisión, con respecto al entrenamiento y desarrollo del rendimiento de esprint de alto

nivel, se sintetiza en Tablas según el nivel acuerdo entre las investigaciones y las prácticas de éxito conocidas, respecto a los principios de entrenamiento y a los métodos. De mal acuerdo en las Tablas 2 y 3), de acuerdo moderado en la Tabla 4, y de buen acuerdo en la Tabla 5.

Tabla 2. Mal acuerdo entre las publicaciones científicas y las mejores prácticas de entrenamiento de esprint conocidas, respecto a los principios del entrenamiento de especificidad, de variación/periodización y de individualización (a partir de Haugen et al., 2019).

Principio o entrenamiento.	LITERATURA CIENTÍFICA versus PUBLICACIONES DE MEJORES PRÁCTICAS DE ENTRENAMIENTO
PRINCIPIO de especificidad	Mal acuerdo: Tanto la literatura científica como la de mejores prácticas destacan la importancia de las carreras de velocidad y los movimientos de alta velocidad para mejorar el rendimiento en las carreras de velocidad. Sin embargo, existe una brecha considerable en cómo se aplican los componentes del entrenamiento específico de sprint (ver, por ejemplo, entrenamiento de sprint específico más abajo).
PRINCIPIO de variación/periodización	Mal acuerdo: Los estudios científicos se centran principalmente en la periodización del entrenamiento tradicional y en bloques, mientras que los modelos alternativos (por ejemplo, "largo a corto" y "corto a largo") se utilizan dentro de las principales comunidades de sprint.
PRINCIPIO de individualización	Mal acuerdo: La mayoría de las intervenciones científicas han aplicado un enfoque de "talla única", pero estudios recientes han sugerido que el entrenamiento debe prescribirse de acuerdo con los perfiles individuales de fuerza-velocidad. Las mejores prácticas se centran más en la prescripción del entrenamiento según la capacidad de rendimiento individual, los factores antropométricos, el estado/edad del entrenamiento, el sexo y el estado de recuperación/lesión.

Tabla 3. Mal acuerdo entre las publicaciones científicas y las mejores prácticas de entrenamiento de esprint conocidas, respecto al método de entrenamiento de esprint específico, al método de entrenamiento de la técnica, y a las estrategias de recuperación (a partir de Haugen et al., 2019).

Principio o entrenamiento.	LITERATURA CIENTÍFICA versus PUBLICACIONES DE MEJORES PRÁCTICAS DE ENTRENAMIENTO
ENTRENAMIENTO DE ESPRINT ESPECÍFICO	Mal acuerdo: La mayoría de los estudios relacionados con el sprint se realizan en jugadores jóvenes de deportes de equipo y consisten en sprints breves y máximos con recuperaciones cortas. Por el contrario, los velocistas de élite realizan entrenamientos específicos de sprint con diferentes distancias, intensidades y recuperaciones.
ENTRENAMIENTO de TECNICA	Mal acuerdo: Muy pocos estudios científicos se dedican a cómo se puede lograr una mecánica de sprint óptima. Los mejores practicantes aplican ejercicios de sprint para reforzar el trabajo técnico y aislar características específicas del movimiento.
ESTRATEGIAS DE RECUPERACIÓN	Mal acuerdo: Las mejores prácticas aplican varias modalidades de recuperación post-ejercicio pasivas y activas (masajes, prendas de compresión, inmersión en agua fría, crioterapia, carreras de tempo, etc.), aunque la evidencia científica de estas estrategias es limitada.

Tabla 4. Acuerdo moderado entre las publicaciones científicas y las mejores prácticas de entrenamiento de esprint conocidas, respecto al principio de sobrecarga progresiva (a partir de Haugen et al., 2019).

Principio o entrenamiento.	LITERATURA CIENTÍFICA <i>versus</i> PUBLICACIONES DE MEJORES PRÁCTICAS DE ENTRENAMIENTO
PRINCIPIO de sobrecarga progresiva	ACUERDO MODERADO: Tanto la literatura científica como la de mejores prácticas enfatizan la importancia de la familiarización y la progresión gradual para reducir el riesgo de lesiones y maximizar el rendimiento. Sin embargo, la influencia de la superficie de carrera y el calzado como modificadores específicos de la carga de entrenamiento de sprint se destaca más dentro de las mejores prácticas.

Tabla 5. Buen acuerdo entre las publicaciones científicas y las mejores prácticas de entrenamiento de esprint conocidas, respecto al método de entrenamiento de fuerza, al método de entrenamiento pliométrico, y al método de entrenamiento de puesta en forma (Tapering). (A partir de Haugen et al., 2019).

Principio o entrenamiento.	LITERATURA CIENTÍFICA <i>versus</i> PUBLICACIONES DE MEJORES PRÁCTICAS DE ENTRENAMIENTO
ENTRENAMIENTO DE FUERZA Y POTENCIA	BUEN ACUERDO: No existen grandes discrepancias en las recomendaciones de entrenamiento de fuerza y potencia relacionadas con el sprint al comparar la literatura científica y de mejores prácticas.
ENTRENAMIENTO PLIOMÉTRICO	BUEN ACUERDO: Tanto la literatura científica como la de mejores prácticas alientan a los velocistas a utilizar diferentes tipos de ejercicios muy intensivos de saltos, saltos y saltos para desarrollar la rigidez de las piernas y la producción de potencia horizontal.
ENTRENAMIENTO DE PUESTA EN FORMA (TAPERING)	BUEN ACUERDO: Las estrategias de reducción gradual empleadas por los mejores profesionales son generalmente consistentes con la investigación, aunque la literatura sobre mejores prácticas proporciona información más detallada.

Estos resúmenes (Tablas 2 a 5) del estudio de revisión de Haugen et al. (2019) pueden cuestionar algunas tendencias de entrenamiento del esprint, a la vez que generan nuevas hipótesis para futuras investigaciones que se deberán realizar sobre la realidad de los entrenamientos administrados por los técnicos y los efectos reales significativos que provoquen.

[1] (tiempo de vuelo/tiempo de contacto) *100

REFERENCIAS

- Bezodis, I. N., Kerwin, D. G., Cooper, S., Salo, A. I. (2018). Sprint Running Performance and Technique Changes in Athletes During Periodized Training: An Elite Training Group Case Study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(6), 755-762. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0378>
- Esbjörnsson, M., Holm, I., Sylvén, C. et al. (1996) Different responses of skeletal muscle following sprint training in men and women. *Europ. J. Appl. Physiol.* 74, 375-383 (1996). <https://doi.org/10.1007/BF02226935>.
- Fuentes, T., Guerra, B., Ponce-González, J. G., Morales-Alamo, D., Guadalupe-Grau, A., Olmedillas, H., ... & Calbet, J. A. (2012). Skeletal muscle signaling response to sprint exercise in men and women. *European journal of applied physiology*, 112, 1917-1927. doi.org/10.1007/s00421-011-2164-0
- Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol* (1985). 1993 Aug;75(2):712-9. DOI: 10.1152/jappl.1993.75.2.712
- Gastin, P.B. (2001) Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Med* 31, 725-741 (2001).

<https://doi.org/10.2165/00007256-200131100-00003>

6. Grosser, M (1992). Entrenamiento de la velocidad: Fundamentos, métodos y programas. *Martínez-Roca. Barcelona*
7. Hammes F, Hagg A, Asteroth A, Link D. (2022). Artificial Intelligence in Elite Sports-A Narrative Review of Success Stories and Challenges. *Front Sports Act Living. 2022 Jul 11; 4:861466*. doi:10.3389/fspor.2022.861466
8. Haugen, T., Seiler, S., Sandbakk, Ø., Tønnessen, E. (2019). The training and development of elite sprint performance: an integration of scientific and best practice literature. *Sports medicine-open, 5, 1-16*. doi.org/10.1186/s40798-019-0221-0
9. Healy, R; Kenny, I C; Harrison, A (2021). Resistance Training Practices of Sprint Coaches. *Journal of Strength and Conditioning Research 35(7): p 1939-1948, July 2021. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002992*
10. Hirvonen, J., Rehunen, S., Rusko, H. et al. (1987). Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. *Europ. J. Appl. Physiol. 56, 253-259 (1987)*. <https://doi.org/10.1007/BF00690889>
11. Jiménez-Reyes, P., Pareja-Blanco, F., Cuadrado-Peñañiel, V., Ortega-Becerra, M., Párraga, J., & González-Badillo, J. J. (2018). Jump height loss as an indicator of fatigue during sprint training. *Journal of Sports Sciences, 37(9), 1029-1037*. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1539445>
12. Loturco I, Contreras B, Kobal R, Fernandes V, Moura N, Siqueira F, et al. (2018). Vertically and horizontally directed muscle power exercises: Relationships with top-level sprint performance. *PLoS ONE 13(7): e0201475*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201475>
13. Loturco, I., Freitas, T. T., Zabaloy, S., Pereira, L. A., Moura, T. B., Fernandes, V., ... & Bishop, C. (2023). Speed training practices of Brazilian Olympic sprint and jump coaches: toward a deeper understanding of their choices and insights (part II). *Journal of Human Kinetics, 89, 187-211*. Doi: 10.5114/jhk/174071
14. Martín Acero, R (1992). Sistema funcional: Nuevo concepto de la organización del entrenamiento de las carreras de velocidad. *Apunts. Educación física y deportes, 2 (28) 35-48*. <https://revista-apunts.com/sistema-funcional-nuevo-concepto-de-la-organizacion-del-entrenamiento-de-las-carreras-de-velocidad/>
15. Martín Acero, R (1999). Capacidad de salto y de carrera rápida en escolares. *Tesis doctoral Departamento de Medicina. Universidad de A Coruña*.
16. Martín Acero, R, Rodríguez, F., Codina Treznano, A., Jiménez-Reyes, P. (2017). Model for Individual Pacing Strategies in the 400 Metres. *New Studies of Athletics (World Athletics NSA), 3-4, 27-45*
17. Martín Acero, R, Sánchez J A, Rodríguez, D, Justo, M (2023). Perfiles de rendimiento neuromuscular el día de competición de alto nivel en especialidades explosivas de atletismo de mujeres. *RED: Revista de entrenamiento deportivo= Journal of Sports Training, 37(2) 3-10*
18. Möck, S., Hartmann, R., Wirth, K. (2021). Vertical jumping performance relates to sprinting performance over short distances and different sections. *Journal of Applied Sports Sciences, 2,17-27*. DOI: 10.37393/JASS.2021.02.2
19. Rodríguez F, Aragonés M (1992). Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico. 237-278, en *González Gallego (1992) Fisiología de la actividad física y del deporte. McGraw-Hill Interamericana. Madrid*
20. Rodríguez F, Martín-Acero R (1988). Análisis de la transición anaeróbico aláctico-láctico en velocistas mediante test de lactacidemia. *Cuadernos de Atletismo ENE (26), 29-55. RFEA. Madrid*.
21. Rodríguez F, Martín-Acero R, Povill J M (1986). La resistencia en jóvenes velocistas: Estudio piloto control umbral aláctico/láctico. "1º Congreso de Planificación y Control del Entrenamiento», *INEFC Lérida*.
22. Rumpf MC, Lockie RG, Cronin JB, Jalilvand F. (2016). Effect of Different Sprint Training Methods on Sprint Performance Over Various Distances: A Brief Review. *J Strength Cond Res. 2016 Jun;30(6):1767-85* doi: 10.1519/JSC.0000000000001245
23. Thurlow, F., Huynh, M., Townshend, A. et al. (2023). The Effects of Repeated-Sprint Training on Physical Fitness and Physiological Adaptation in Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med (2023)*. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01959-1>
24. Vittori, C. (1976). Esperienze Sulla Distribuzione Dello Sforzo Nelle Gare Di Velocità. *SSS Società Stampa Sportiva. Roma*.
25. Vittori, C. (1983). L'organizzazione dello allenamento. *Atleticastudi. FIDAL, Roma*.
26. Vittori, C. (1990). El entrenamiento de la fuerza para el sprint. *RED: Revista de entrenamiento deportivo= Journal of Sports Training, 4(3), 2-8*.
27. Vittori, C. (1995). Le gare di velocità: La scuola italiana di velocità, 25 anni di esperienze di Carlo Vittori e collaboratori. *FIDAL Federazione Italiana di Atletica Leggera - Centro Studi & Ricerche-. Roma*.
28. Vittori, C., Bellotti, P., Donati, A. (1995). I fattori caratterizzanti l'allenamento sportivo. *Rivista Atleticastudi. FIDAL - Centro Studi & Ricerche-. 79-82*
29. Wagensberg, J. (1985). Ideas sobre la complejidad del mundo. *Metatemas. Tusquets Edt. Barcelona*.
30. Whelan, N., Kenny, I. C., Harrison, A. J. (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>
31. Zatsiorskiy, V.M. (1989). Metrología deportiva. *Edt. Pueblo y Educación. La Habana*.