



**Exploración de métodos rítmicos para la cuantificación del entrenamiento deportivo: una
revisión sistemática del uso del metrónomo en la preparación física.**

Perillo, Juan Ignacio

Facultad de Motricidad Humana y Deportes

Universidad Abierta Interamericana

Trabajo Final de Grado

Licenciatura en Actividad Física y Deportes (CCC) – Ciclo Alto Rendimiento

Profesor: Bosch, Carlos Adolfo

Diciembre 2024

Índice

Resumen:	3
PALABRAS CLAVE: <i>metrónomo, música, ritmo, fuerza, velocidad, resistencia, feedback, métrica.</i>	3
1. Introducción.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	8
1.2 Objetivos.....	9
1.3 Justificación.....	9
1.4 Viabilidad	10
2. Respaldo Conceptual	11
2.1 Antecedentes	11
2.2 Marco Teórico.....	12
3. Acciones de campo	33
3.1. Apartado metodológico	33
3.2. Trabajo de campo.....	37
4. Conclusión.....	42
5. Referencias	43
6. Bibliografía	44
7. Anexo	55

Resumen:

El espectro deportivo se compone, además de la coordinación, de actividades asociadas a la tríada velocidad-fuerza-resistencia desarrollada en el tiempo. Para el entrenamiento de estas capacidades es menester evaluar la intensidad, volumen y densidad de las cargas para su mejora. En consecuencia, se expone que existen diferentes mecanismos que estiman la intensidad ya sea como carga interna o externa (%RM, velocidad de ejecución, desplazamiento, %Vo2, %FC, RPE, etc.). Se utilizó la metodología PRISMA 2020 para identificar estudios que hayan utilizado el metrónomo para determinar las intensidades en la preparación física. Según la bibliografía, el metrónomo, por su periodicidad, y por el feedback que otorga, podría ser una herramienta útil para la dosificación del ejercicio en distintos deportes. Se considera que, aunque prometedora (ya que todos los estudios reportaron correlación y mejoras), esta afirmación requiere más investigación y mayor número de muestras como respaldo (n = 10).

PALABRAS CLAVE: *metrónomo, música, ritmo, fuerza, velocidad, resistencia, feedback, métrica.*

1. Introducción

«Si he llegado a ver más lejos que otros es porque me subí a hombros de gigantes.» Isaac Newton (1676) *Carta de Isaac Newton a Robert Hooke*. Historical Society of Pennsylvania.

«Nuestra época disfruta del beneficio de la precedente —y a menudo conoce muchas cosas no por su propio ingenio, sino apoyándose en fuerzas ajenas— y de la opulenta doctrina de los Padres. Decía Bernardo de Chartres que somos como enanos sentados a hombros de gigantes, de tal modo que podamos ver más y más lejos que ellos, **mas no, ciertamente, por la agudeza de nuestra vista o por la eminencia de nuestro cuerpo, sino porque somos llevados en alto y elevados por su gigantesca estatura.**» Juan de Salisbury (1159) *Metalogicon*. (destacado propio)

«Not quite my tempo.» (“No es precisamente mi ritmo”). Terence Fletcher. *Whiplash* (2014).

Para comenzar, quisiera hablar sobre la actitud de investigación que ha inspirado este trabajo.

Históricamente, dos de los pilares fundamentales de la ciencia han sido la innovación y la revisión crítica de sus postulados mediante la observación, experimentación y registro preciso de datos. En aras de la primera, la interdisciplinariedad ha contribuido enormemente a su desarrollo permitiendo cambios de paradigma, giros “copernicanos”, donde la migración y el intercambio de ideas, conceptos y herramientas han creado nuevos objetos y áreas de estudio.

Particularmente en el ámbito de las Ciencias del Ejercicio y la Educación Física, las interacciones entre las distintas ramas de la biología, química, física, medicina, entre otras, han dado lugar a la biomecánica deportiva, fisiología del esfuerzo, medicina deportológica, analistas de datos y rendimiento, entre otras. A su vez, eso ha llevado a mayor rigurosidad y precisión en el registro de datos popularizando el lema cuantitativo “lo que no se mide, no se mejora”, y estableciendo distintos marcadores o parámetros que los atletas deben cumplir para ser competitivos, siendo éstos incluso específicos a cada deporte o actividad.

Interesantemente, tal ha sido el caso de dos renombradas figuras que se influenciaron y llevaron el análisis deportivo al siguiente nivel: Nikola Bernstein y Yuri Verkhoshansky. El primero, médico neurofisiólogo, fue encargado por el gobierno soviético la optimización productiva de los obreros, tarea que llevó a cabo mediante el registro de fotografías y vídeos de trabajadores en su actividad. Su trabajo entrelaza la psicología, la medicina, la física, la matemática y fue quien desarrolló la biomecánica y la fisiología. Fuertemente influenciado por este trabajo (compartieron la conferencia “Cibernética y Deporte” organizada por Vladimir Zatsiorsky (director del Instituto de Investigación sobre Cultura Física y Deportes de la URSS) estuvo el segundo, Yuri Verkhoshansky, una de las figuras más eminentes en la preparación física y el entrenamiento, que antes de llegar a ser entrenador de la selección rusa, estudió cine, fotografía y música lo que le permitió realizar su primer artículo sobre el análisis cinemático y dinámico de los saltadores del Instituto de Educación Física de la URSS.

En resumen, el trabajo de ambos se centró en cómo mejorar el desempeño motor mediante la observación de patrones cíclicos (ciclogramas) de la tarea y utilizando herramientas externas a su disciplina para identificar fases, fuerzas, y posiciones sobre las que poder trabajar.

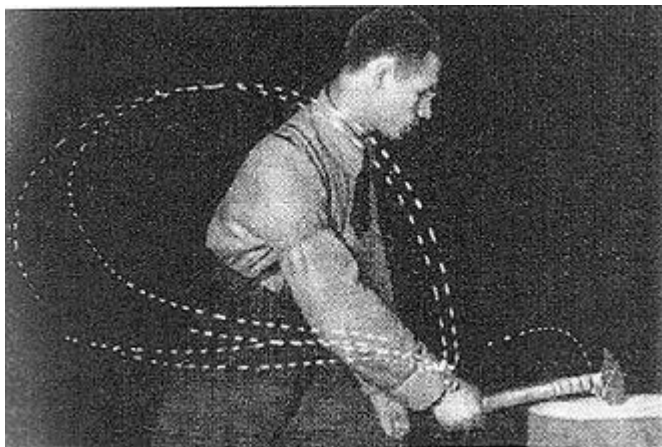


Figura 1. Ciclograma de un obrero metalúrgico utilizando el martillo analizado por N. Bernstein.

En mi labor como preparador físico, en deportes individuales y de conjunto, es donde cobran relevancia estas cualidades científicas de selección y prueba de distintas herramientas y métodos que puedan optimizar el rendimiento de los entrenados, por lo que la versatilidad de estos dos profesionales me ha servido como inspiración.

La necesidad de obtener datos que permitan cuantificar el rendimiento deportivo y experimentar protocolos para su mejora suelen requerir un gran despliegue de recursos: gran cantidad de evaluadores, costosas tecnologías, condiciones ambientales e individuales pertinentes, capacitación de evaluadores y atletas en la realización del test, individualización, etc.

Estas variables suelen aumentar exponencialmente su complejidad cuanto más grandes sean los grupos. He sufrido, en carne propia y más de una vez, el perder sesiones enteras de entrenamiento para realizar evaluaciones a todo plantel que luego quedan desactualizadas. Más aún, dentro de la realidad socioeconómica de las/os profesoras/es de Ed. Física y los clubes en la Argentina y la región, el factor económico suele tener gran preponderancia. Es así como, inspirado en la interdisciplinariedad de los profesionales mencionados, he intentado recurrir a distintos

ámbitos como respuesta, uniendo la física y la música (particularmente un metrónomo) para medir tres de las cualidades más importantes en el deporte: la fuerza, la velocidad y la resistencia.

El efecto ergogénico¹ de la música ha sido ampliamente estudiado por diversos autores explicando la potenciación del rendimiento (externo) a través de la mejora de distintas variables psicológicas y fisiológicas (internas): efecto de disociación, reducción del esfuerzo percibido, incremento de la frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno, niveles de lactato, etc. Varias investigaciones se han centrado en si la música elegida era de preferencia o no (Ballmann, 2021), en el género musical, (Yanguas, 2006), y en su rol de facilitadora cognitiva para el aprendizaje motoriz (Yanguas, 2006; Bianco et. al, 2017; McCrary & Gould, 2023). Sin embargo, un aspecto fundamental mencionado, y al parecer no tan estudiado, es la precisión del ritmo. Si bien varias fuentes reconocen su importancia, parecería, según Karageorghis (2012), que investigaciones pasadas sufrieron algunas inconsistencias debido a falta de conceptualizaciones claras y metodologías estandarizadas, lo que resalta la importancia de realizar revisiones sistemáticas. En el mismo estudio se define “Rhythm response” como los efectos del ritmo musical, especialmente el tempo (medido en golpes por minuto, bpm, del inglés beats per minute) y se la ubica como la variable musical más importante de su marco conceptual. El pionero de esta afirmación habría sido el psicólogo Robert McDougall, en un estudio publicado en 1902, sobre la relación del sistema nervioso con el ritmo, definiendo este último como la experiencia sensorial de la repetición periódica de un estímulo en una temporalidad dada y destacando su papel en la ejecución de un movimiento.

Múltiples beneficios asociados a la música parecerían ser estrictamente derivados del ritmo como señalan Bianco et. al (2017). En dicho estudio, comprobaron la gran similitud motora,

¹ Sustancias, técnicas, herramientas que sirven para potenciar el rendimiento físico y mental en el deporte.

coordinativa, aeróbica y cognitiva (en términos de velocidad de sinapsis neuronal y de reacción) entre atletas y bateristas, los expertos en ritmo, en comparación con músicos de otros instrumentos. En la música, especialmente en la batería, se utiliza el metrónomo como una herramienta que marca intervalos temporales regulares, auditiva o visualmente, para precisar el tempo, seguir el ritmo y mejorar el rendimiento y la ejecución.

1.1 Planteamiento del problema

Como se planteó, el problema a la hora de dosificar intensidades de trabajo en el entrenamiento es multicausal: tecnología costosa, inaplicabilidad en grandes grupos, prescripción sin rigurosidad sin saber cómo esa carga externa se traduce en una interna (por cantidad de contactos, por alturas, por metros, por test indirectos realizados tiempo atrás), etc. Dicho planteamiento convocó a la reflexión y siguientes dudas/preguntas:

¿Cómo se podría aplicar el metrónomo en la dosificación y evaluación del entrenamiento?

¿Cuáles son las posibles ventajas del uso del metrónomo en el entrenamiento?

¿Existe relación entre el metrónomo y las herramientas utilizadas para cuantificar las intensidades de fuerza, resistencia y velocidad?

¿Para qué tipo de entrenamiento y deportes cobraría relevancia?

A partir de aquí, es donde quisiera profundizar en el conocimiento acerca del tema, entender las conexiones existentes con distintas variables físicas (carga externa) y fisiológicas (carga interna) utilizadas para definir la intensidad de las tareas y ejercicios en el entrenamiento deportivo.

Para involucrarme en dicha tarea es que me adentraré en las experiencias realizadas, intentando recopilar estudios que iluminen esas incógnitas e incluso instruyan sobre sus posibles usos y aplicaciones.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

- Recabar información bibliográfica sobre la utilización del metrónomo como método de medición y cuantificación del entrenamiento deportivo.

1.2.2 Específicos

- Describir y profundizar los métodos de dosificación de intensidad actuales y el funcionamiento del metrónomo como posible método de medición.
- Compilar y analizar estudios que hayan evaluado la eficacia del metrónomo de manera aislada y comparada con aspectos de entrenamiento relacionados a la fuerza, velocidad y resistencia.

1.3 Justificación

Siendo que varios autores (Randell et. al, 2011; Sors et. al, 2015; Weakley et. al, 2023) han valorado la utilización de ayudas viso auditivas para la práctica deportiva y las mejoras que se dan en el entrenamiento de pesas, en la resistencia muscular y en la fatiga percibida, se podría considerar que sería de gran importancia la utilización del metrónomo en la misma. La presente

podría encontrar experiencias previas donde se haya utilizado como método de ayuda y corrección teniendo que ejecutar un movimiento al ver/oír la señal del metrónomo.

Por otro lado, dado que varios de los factores y métricas del rendimiento deportivo y de la intensidad de la actividad física están regidos por la cinemática y dinámica (velocidades, metros recorridos, etc.), la vertiente física del metrónomo tendría una gran utilidad por su periodicidad, su capacidad de medir el tiempo. Encontrar experiencias que lo utilicen podrían ilustrar sobre cómo calcular intensidades y dosificar entrenamientos de manera más precisa.

En la preparación física actual, es crucial tener dispositivos² que permitan evaluar variables del entrenamiento (como las capacidades condicionales: fuerza, resistencia, velocidad) y corregir simultáneamente el rendimiento mecánico. El metrónomo cumpliría estos requisitos con una gran accesibilidad y facilidad en su uso, por lo que esta investigación aportaría a los preparadores físicos y entrenadores una nueva herramienta para nuestro trabajo e iluminaría sobre los distintos modos en que se podría aplicar en la práctica.

Por último, varios de los dispositivos de medición actuales son muy costosos y acotados al uso individual, por lo que encontrar métodos alternativos sería eficiente para con costos y cantidad de personas a trabajar simultáneamente. Es así como la bibliografía encontrada en este estudio podría actuar como respaldo teórico e instructivo de uso del metrónomo en nuestra labor.

1.4 Viabilidad

² Entre los más usados se destacan los cronómetros (miden el tiempo), las alfombras de contacto, y los encoder lineales o acelerómetros. Las alfombras de contacto actúan como cronómetros midiendo los instantes de contacto en un salto y estimando el tiempo de vuelo, altura del salto, potencia y fuerza empleada, etc. Los acelerómetros y los encoders lineales, en términos básicos, miden tiempos y distancias lo que permite calcular velocidades y estimar fuerza, potencia, etc.

La presente puede llevarse adelante ya que se cuenta con acceso a las bases de datos académico-científicas para el pertinente análisis. En caso de estudios restringidos se solicitará permiso a los/as autores.

2. Respaldo Conceptual

2.1 Antecedentes

McCrary & Gould (2023) esbozan una metodología de trabajo, llamada “Ritmo en el Deporte”, que mezcla su versátil experiencia en pedagogía musical, fisiología del deporte, ciencias biomédicas y como bateristas. Dicha modalidad consiste en utilizar los intervalos generados por un metrónomo para realizar distintas acciones deportivas permitiendo mejorar la coordinación inter e intramuscular, la coordinación del equipo por ejemplo para tácticas de ataque/defensa de manera simultánea y ordenada, realizar cambios de ritmo de acuerdo a acentos del metrónomo y calcular valores como potencia de una acción. Este antecedente, si bien se centra en lo coordinativo, me ha incentivado a realizar una revisión para buscar los distintos protocolos que se han llevado a cabo en el uso de metrónomos, o elementos análogos, para el entrenamiento de las capacidades físicas necesarias en el deporte.

Al igual que se mencionó en la introducción, muchas revisiones estudian el efecto de la música en el rendimiento mencionando el tempo y el ritmo pero sin darle la preponderancia y precisión pertinente. Un ejemplo de esto, se ve en Elliot et al (2005), citado en Montero et. al (2016), donde se menciona como ante tres grupos (sin música, música motivacional, música no motivacional) los grupos con música lograban mejoras en la velocidad, pero sin haber diferencias entre ellos siendo que compartían el tempo (140bpm). En las conclusiones de dicho estudio, no se menciona el tempo como el determinante de esas mejoras. Es por eso, que en esta revisión se diferenciará buscando darle la importancia pertinente a esa variable.

2.2 Marco Teórico

Una vez un profesor me comentó que las revisiones sistemáticas pueden compararse con las funciones que desempeña un bibliotecario: se debe establecer, basado en un “misterioso” sentido común (pero al mismo tiempo individual y propio), unos criterios o categorías para ordenar todo el conocimiento (los libros) que encuentra y facilitarle el acceso a aquellos que vienen en su búsqueda. En línea con las frases que introducen este trabajo, se trata de compilar la sabiduría existente alrededor de un tema, brindando al lector un poderoso acercamiento al estado de la materia, ofreciendo las referencias pertinentes por si desea profundizar y, así como Newton se hizo eco de Juan de Salisbury, y éste de Bernardo de Chartres, aportar un pequeño y humilde ladrillo al inmenso muro que otros han construido. Según Page et. al (2021):

“las revisiones sistemáticas son útiles en muchos aspectos críticos, ya que pueden proporcionar una síntesis del estado del conocimiento en un área determinada, a partir de la cual se pueden identificar futuras prioridades de investigación, abordar preguntas que de otro modo no podrían ser respondidas por estudios individuales, identificar problemas en la investigación primaria que deben ser corregidos en futuros estudios y generar o evaluar teorías sobre cómo o por qué ocurren fenómenos de interés.”

En ese sentido, quisiera comenzar esbozando la idea e importancia de categorías de medición bajo el concepto de feedback.

En Petancevski et al. (2022), se realiza un metaanálisis y se da un panorama general del término feedback. Se propone que el objetivo del aprendizaje motor es el mejoramiento duradero en la “*performance of a skill*”, que podríamos traducir en el rendimiento o ejecución de una habilidad/destreza, y que, para llegar a su perfeccionamiento, un cambio fundamental que se da en el esquema del ejecutante es la habilidad mismo para detectar y corregir errores.

Es así que se define el feedback como la información y mecanismos de corrección, propios o externos, con que se provee el ejecutante, siendo el intrínseco la información sensorial natural de quien realiza la acción, y el “feedback aumentado, la información proveída por fuentes externas suplementando o incluso reemplazando a la primera”

También, se afirma que el feedback aumentado puede ser provisto como:

-Conocimiento de resultados (KR - Knowledge of Results), “que provee información sobre el resultado de la ejecución (...) como por ejemplo los tiempos en un sprint”³, la altura en un salto, etc. (el dato).

-Conocimiento de performance (KP - Knowledge of Performance), que, en contraste, se orienta al proceso e “informa al practicante sobre sus patrones motores ya sea de manera descriptiva o prescriptiva, dando mera información sin juicio o indicando que debe de corregirse, como el análisis de video de ejecuciones previas, la corrección verbal de un profesor...” (la inferencia y análisis del dato).

Estos conceptos tienen una estrecha relación con sus equivalentes en el área empresarial: KPI (Key Performance Indicator - Indicador Clave de Performance) y OKR (Objectives and Key Results - Objetivos y Resultados Clave), siendo que todos cuentan con un origen incierto (los deportivos KR - KP se mencionan en Gentile (1972) pero parecerían ser anteriores) todos hacen alusión al concepto y esencia de métrica.

³ Carrera de máxima velocidad, pique.

Se adjuntan las definiciones de metro (1 y 2), sistema (3) y métrica (4), según la RAE y Wikipedia, para esclarecer esa esencia. Se incluyen definiciones de diversos campos que están asociados en el cuerpo y espíritu de este trabajo:

1- *Metro*. Perteneciente o relativo al metro (unidad de longitud). Sistema métrico

2- *Metro*. Unidad de longitud del sistema internacional, que originalmente se estableció como la diezmillonésima (10^{-7}) parte del cuadrante del meridiano terrestre, y hoy, con más precisión, se define como la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de $1/299.792.458$ de segundo

3- *Sistema*. Conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí. Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto.

4- *métrica*.

(poesía). Se ocupa de la medida y estructura de los versos y sus combinaciones.

(música). Estructura subyacente que se basa en la aparición periódica, normalmente a intervalos regulares, de sonidos u otros elementos acentuados.

(matemática) Cualquier función que define una distancia en un espacio métrico.

Lo que podemos concluir es que las métricas son sistemas de ordenamiento y de clasificación arbitrarios. Es decir, estructuras de comparación que creamos con objetivos para poder organizar y analizar la realidad. En nuestro caso particular, para precisar la intensidad

(dificultad del estímulo/esfuerzo), evitar la fatiga (merma en una métrica que evalúa el rendimiento ante una intensidad determinada) y, por lo tanto, mejorar la performance deportiva.

Consecuentemente, se procederá a definir el metrónomo, sistemas de ordenamiento y las métricas asociadas que estudiaré en el presente trabajo.

Según la RAE y Wikipedia, el **metrónomo** (del griego μέτρον, métron, ‘medida’ y νόμος, nómos, ‘ley, norma’) es un instrumento/máquina/aparato que, a manera de reloj, produce regularmente una señal, visual o acústica, que permite medir el tiempo e indicar el compás de las composiciones musicales. Así como el reloj subdivide el tiempo en partes iguales⁴, el metrónomo actúa de manera análoga manteniendo, por lo general, una cantidad de pulsaciones u ondulaciones a intervalos regulares denominados *beats per minute* -golpes o pulsaciones por minuto, BPM/PPM- (pueden también estipularse por segundo o por hora pero no son frecuentes) y que permiten, aplicado a la música, precisar el *tempo* (velocidad o ritmo) de una composición musical. Ésto actúa orientándonos a respetar un cierto orden, manteniendo un tiempo y evitando acelerarse o ralentizarse. De esta manera, el metrónomo podría ser un recurso en la búsqueda de patrones rítmicos en las acciones deportivas. Otra particularidad con la que cuenta es se mide en BPM, al igual que los latidos del corazón, e incluso parecería que la sincronización de ambos es algo común, siendo que tempos más rápidos, en un rango cercano, incrementan los latidos del corazón (Watanabe et. al, 2017). Pueden ser analógicos, mecánicos, electrónicos, digitales o combinaciones (Figura 2), e incluso puede utilizárselo desde aplicaciones móviles o de manera online (Figura 3). Sin embargo, debe comprenderse que el metrónomo, más allá de su prototipo actual, ha tenido una

⁴ El metrónomo, el reloj, el péndulo, el cronómetro, etc. son análogos ya que representan la discretización y medición del tiempo a través de la periodicidad (la repetición de eventos iguales). El metrónomo utiliza intervalos más pequeños que un reloj (metrónomo a 60 bpm) pero más grandes que un cronómetro (60000 bpm). Intervalos más pequeños tienen menos desfase, pero pierden sentido discreto. Además, el metrónomo cuenta con la ventaja que puede cambiar la frecuencia y por lo tanto “duración” de los intervalos.

amplia evolución histórica (Bonus, 2010) ya que representa la noción de medir el tiempo a través de dos eventos por lo que se hará énfasis en esto y no en el tipo utilizado.



Figura 2. Metrónomos analógico y digital respectivamente.

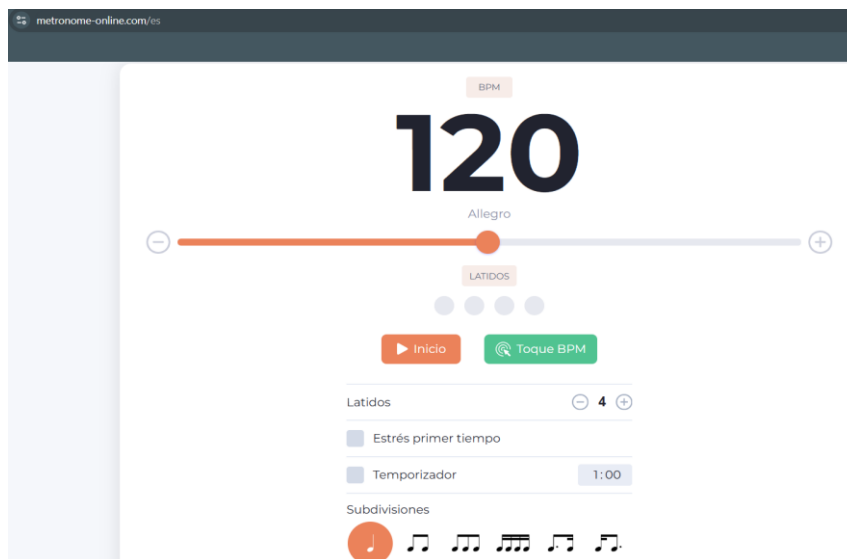


Figura 3. Metrónomo online. Esta variante online, por ejemplo, permite adecuar el tempo a distintos ritmos (4/4, $\frac{3}{4}$, etc.) y modificar el sonido del primer beat.

A continuación, me adentraré, larga pero estrictamente, en cuestiones y variables de cuantificación del entrenamiento que buscaré relacionar con la función y el rol del metrónomo.

En lo que respecta a la preparación física, los distintos modelos de entrenamiento se dedican a intentar mejorar las capacidades del atleta (Gundlach, 1968):

-Coordinativas

-Condicionales: Fuerza, Resistencia y Velocidad

-Mixtas

Para mejorar una capacidad, se destina una carga, “un conjunto exigencias mecánicas, biológicas y psicológicas, inducidas por las actividades de entrenamiento y competición, que provocan un estado de desequilibrio en el organismo del atleta (González-Badillo & Ribas Serna, 2002).” (Morán-Navarro, 2012). Aunque los tres componentes que la definen son el Volumen (aspecto cuantitativo: metros, repeticiones, tiempos, etc), la Densidad (relación carga/descanso) y la Intensidad (aspecto cualitativo: el rendimiento requerido respecto a una capacidad), ésta última es la que “está considerada por un gran número de autores como la principal variable que orienta y condiciona las adaptaciones al entrenamiento (Kraemer, Fleck & Deschenes, 1988; Gibala et al., 2006; Helgerud, et al., 2007).” Es por eso por lo que lograr la cuantificación de la intensidad entonces es algo importante.

Se exponen, a partir de aquí, los parámetros de intensidad que suelen utilizarse en el entrenamiento de la fuerza, velocidad y resistencia y que comprenderán las variables a buscar en mi revisión. Algunos de los mismos representan carga externa, o rendimiento mecánico observable, mientras que otras, carga interna, o variables fisiológicas/psicológicas del sujeto y se

irán destacando. Bajo consideración del autor, y respetando el carácter instructivo de esta revisión, se detalla su explicación.

A manera de ayuda, se definen, sin profundizar en complejos cálculos matemáticos, algunos conceptos desde la física utilizados para cuantificación del entrenamiento y las unidades en que suelen expresarse generalmente (José, A., 2009) (Hewitt, 1998) (Soriano et al. 2016):

-Masa (Kg): como cantidad de materia (en este caso de la resistencia o carga externa).

-Posición/Distancia (m): cantidad de metros que se desplazó una masa o posición relativa del cuerpo cuando no se encuentra en el origen.

-Velocidad (m/s): es la derivada de la posición, es decir, la tasa de cambio de la posición del cuerpo/masa. Cuánto varió su posición en el tiempo.

-Aceleración (m/s²): Es la derivada de la velocidad, es decir, la tasa de cambio de la velocidad (si es 0 la velocidad es constante, no hay fuerzas resultantes aplicadas). Cuanto varió su velocidad en el tiempo.

-Fuerza (N) (Newton = Kg x m/s²): interacción entre un objeto y su medio. Expresa la relación entre una masa/cuerpo y su aceleración.

Trabajo (J): Fuerza por distancia en la que es aplicada (Joules = N x m).

Potencia (Watt): Fuerza por velocidad (Watt = N * m/s) o trabajo por tiempo (J x s⁻¹).

Teniendo eso en cuenta, en la actualidad del entorno deportivo se destaca a la fuerza como la capacidad base de las demás ya que se la define, desde el punto de vista mecánico, como toda causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo, así como la causa

capaz de deformar los cuerpos, bien por presión (compresión o intento de unir las moléculas de un cuerpo) o por estiramiento o tensión (intento de separar las moléculas de un cuerpo). Asimismo, desde el punto de vista fisiológico, la fuerza se entiende como la capacidad de producir tensión que tiene el músculo al activarse (González-Badillo, 1991). Según lo visto, el aspecto mecánico de la carga en la fuerza dependería de la masa que con la que se interactúa (Kg de uno mismo, de la barra, una pelota, un contrincante, el suelo, etc.) y de la aceleración (relación velocidad-posición-tiempo) que se le imprime. Por lo general, en la práctica del entrenamiento de fuerza, suele ser difícil medir esos cambios en la posición y la velocidad por lo que se prepondera la masa por su carácter constante. A su vez, Grosser y Muller (1989) definen la fuerza como, la capacidad del sistema neuromuscular de superar resistencias a través de la actividad muscular (trabajo concéntrico), de actuar en contra de las mismas (trabajo excéntrico) o bien de mantenerlas (trabajo isométrico). Las mismas refieren al tipo de contracciones que realiza el músculo siendo las concéntricas producidas por el acortamiento de las fibras musculares hacia el centro del huso muscular (asociada al acercamiento de los puntos de inserción cuando las fuerzas aplicadas superan a las cargas); las excéntricas, cuando se produce una extensión del músculo durante su fase de tensión (suele producirse por el alejamiento de los puntos de inserción dado generalmente cuando la fuerza es menor a la carga); y las isométricas, que mantienen la longitud del músculo durante la contracción (no suele haber movimiento asociado siendo las fuerzas resultantes nulas). Por último, existe la combinación de los tres tipos de contracción en un gesto rápido que se conoce como “pliometría” y sobre el que me explayaré más adelante.

La resistencia⁵, por lo tanto, y bajo definición de éstos últimos autores (Grosser y Muller), se condice con la capacidad física y psíquica de soportar la fatiga frente a los esfuerzos y/o la recuperación rápida después de la actividad. Sería la capacidad de sostener la fuerza en el tiempo y su intensidad suele medirse en **porcentaje de frecuencia cardíaca máxima (%FCMáx), porcentaje de Consumo Máximo de Oxígeno (%Vo2Máx), concentración de lactato en sangre capilar (lact -1)**, etc. (Morán Navarro, 2012).

A la hora de prescribir cargas e intensidades para mejorar las capacidades, la fisiología del esfuerzo investiga como esas cargas se traducen en cargas internas (cambios fisiológicos, perceptuales-psicológicos, neuromusculares) y cómo están relacionadas. Es aquí donde aparece la fatiga y que se definirá como esa alteración de la homeostasis y carga interna en un nivel que evidencia una merma en el rendimiento.

En la tesis doctoral de Vásquez Bonilla (2021) se realiza un exhaustivo análisis de los mecanismos que se despliegan durante la fatiga y sus consecuencias, diferenciando por ejemplo entre fatiga central (SNC y estructuras nerviosas asociadas e.g. reclutamiento de axones motores, señalización, etc.) y periférica (fatiga muscular). No me adentraré mucho aquí por las limitaciones que un trabajo de grado establece, pero se determinan algunas variables de incidencia como la alteración de pH, temperatura, flujo sanguíneo, acumulación de residuos metabólicos, etc. Destaco,

⁵ Como comentario a destacar, debe aclararse que, por lo general, en la bibliografía anglófila/anglófona “entrenamiento de resistencia - resistance training” se refiere al entrenamiento de la fuerza con pesas, es decir, con una resistencia que se oponga al movimiento; mientras que el entrenamiento de resistencia cardiorrespiratoria suele englobarse con el término “endurance”. De la misma manera, los medios y métodos de entrenamiento asociados a este último, conocidos como intermitentes e intervalados tienen su correlato en los “HIIT / HIT” -High Intensity (Interval) Training-.

por el interés de este trabajo, la mención de la reducción de fuerza y velocidad (potencia) en la secuencia de excitación-contracción muscular, con su consecuente reducción de las capacidades, y el rol del lactato (teniendo en consideración factores como la edad, la altura a nivel del mar, etc.) como uno de los parámetros medidos para detectar la fatiga muscular, no por su contribución directa en ésta sino por su presencia durante esfuerzos repetidos debido a la relación entre producción y remoción/utilización del mismo.

El estudio de las cargas internas y la fatiga llevado a cabo por la fisiología nos permite clasificar la actividad física y, en particular los deportes, de acuerdo a las demandas y adaptaciones que generan en nuestro cuerpo. Además de la conocida jerarquización de los sistemas energéticos, una clasificación estandarizada es la publicada por la facultad de cardiología americana, Journal of the American College of Cardiology (JACC), que se basa en las exigencias cardíacas determinadas por la relación de los componentes estáticos y dinámicos de la actividad durante el tiempo que se realiza. (JACC, 2005). Medir dichas componentes y entender cómo evolucionan en el tiempo es apropiado para inferir niveles de fatiga y carga interna asociados.

Estas demandas se expresan en:

-el porcentaje estimado de la contracción máxima voluntaria (%MVC) como representación del componente estático y de la fuerza, haciendo alusión a la cantidad de fibras musculares reclutadas de manera coordinada para la ejecución de una tarea y asociado con un aumento en la presión sanguínea. En este sentido, Zatsiorsky (1995, 2020) había establecido anteriormente que la **RM -Repetición Máxima-** se refería a la cantidad de carga externa (Kg) con que se podía realizar una tarea y que era la expresión de la fuerza que mejor se correlaciona con la mayor contracción voluntaria. Es decir, a mayor carga externa (Kg) mayor carga interna requerida (fuerza muscular a través de la coordinación en la contracción simultánea de las fibras).

-el porcentaje estimado del consumo máximo de oxígeno (Máx. O₂ o %Vo₂) como representación del componente dinámico y la resistencia, haciendo alusión a la cantidad máxima de oxígeno que el cuerpo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo, asociada al aumento del gasto cardíaco (cantidad de sangre eyectada por el corazón). Suele expresarse en valor absoluto (L x min⁻¹), relativo a la masa corporal (ml x Kg⁻¹ x min⁻¹). En Morán-Navarro (2012), a modo de cuantificar la intensidad en el entrenamiento de la resistencia, se establecen equivalencias entre porcentajes del %Vo₂, %FC, los niveles de lactato, entre otros, probando la utilidad de tener distintas métricas interrelacionadas.

Tales parámetros son importantes a la investigación porque representan las maneras objetivas de cuantificación actual de fuerza y resistencia.

En las siguientes figuras se esquematizan con gráficos estos ejemplos para mejor comprensión. En la Figura 6, se observa como en un eje de abscisas (X -horizontal- como %Vo₂; Y -vertical- como %MVC) se delimitan 9 cuadrantes conteniendo a los deportes y sus exigencias, siendo los que se encuentran en el margen inferior izquierdo en color verde oscuro los de mayor exigencia técnica y menores requerimientos físicos, y, en el margen superior derecho a partir de una variación cromática hacia al rojo, los de mayores exigencias cardiovasculares. Otra conceptualización parecida se ve en la Figura 7.

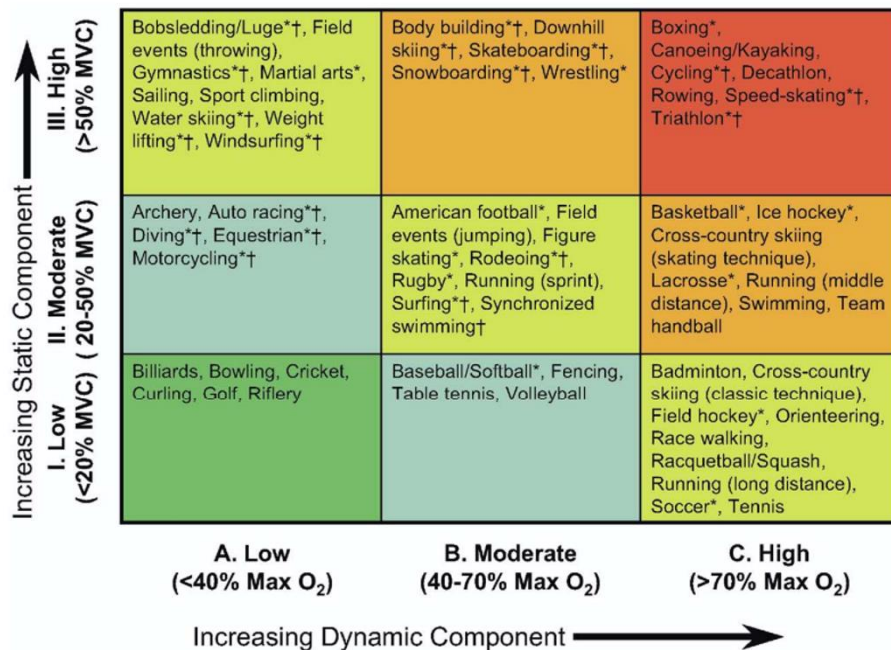


Figura 6. Extraída de Mitchell et al., JACC (2005).

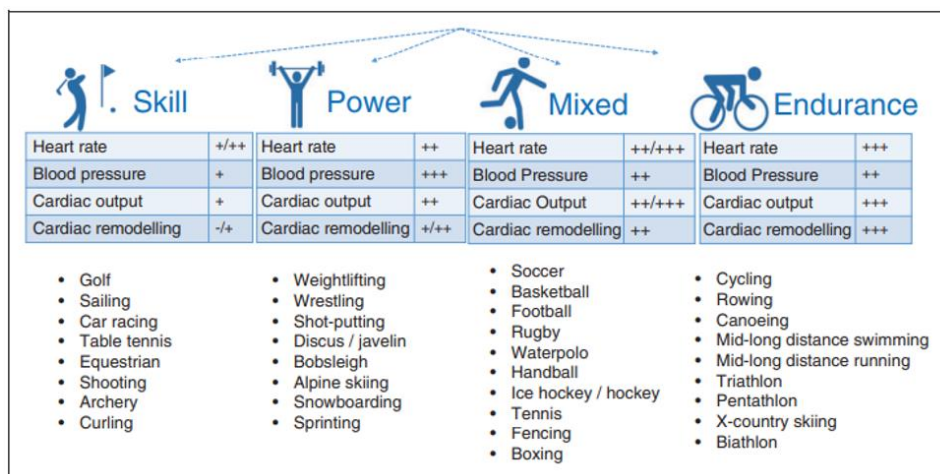


Figura 7. Extraído de Niebauer et al. (2019).

Estas clasificaciones se basan en el “Continuo Fuerza - Resistencia” / “Strength - Endurance Continuum” siendo, según el Diccionario Oxford de Ciencias del Deporte y Medicina (2007): “Un concepto de entrenamiento con pesas basado en la creencia de que la fuerza y la resistencia muscular existen en un continuo con la fuerza representada por el 1RM (la repetición

máxima; la carga máxima que se puede superar con un solo esfuerzo) y la resistencia muscular representada por la capacidad de ejercer una fuerza menor repetidamente a lo largo del tiempo. Un número bajo de repeticiones con cargas relativamente altas se asocia con aumentos en la fuerza, mientras que un número elevado de repeticiones con cargas bajas (20-100 RM) se asocia con aumentos en la resistencia. Según el concepto, a medida que aumentan las repeticiones se produce una transición gradual de fuerza a resistencia.”

Dicha explicación se respalda con la ilustración de la Figura 8 donde podemos ver el continuo de manera gradual y que clarifica la idea que se viene explayando sobre que grandes esfuerzos sólo pueden realizarse durante pocas repeticiones y poco tiempo, y esfuerzos menores pueden ser sostenidos en el tiempo con un número elevado de repeticiones. Se expone otro eje de abscisas que ilustra deportes proclives a la resistencia y a la fuerza de acuerdo a su duración. Este último es importante porque expone los sistemas energéticos involucrados.

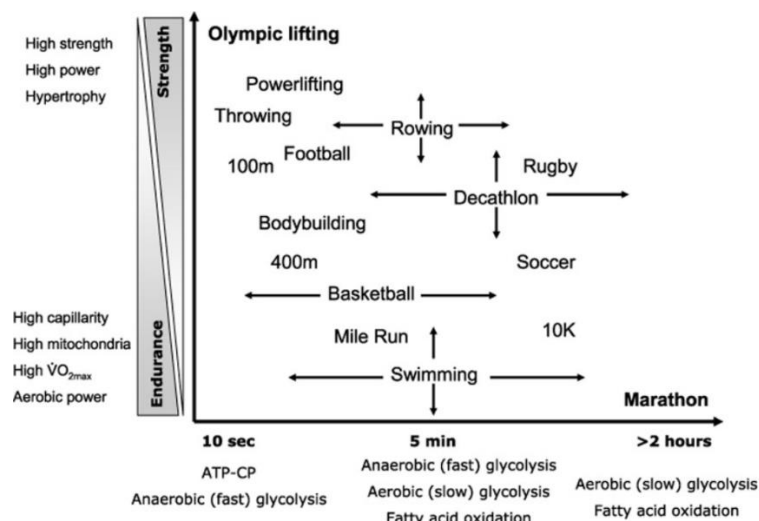


Figura 8. Extraída de Nader (2006).

De retomar estas nociones físicas relacionando el tiempo de ejecución, cantidad de repeticiones, e intensidad también se había valido Zatsiorsky (1995; 2020) para afirmar que la velocidad de la ejecución era otro aspecto importante a tener en cuenta: “La relación paramétrica entre Velocidad Máxima y Fuerza Máxima es típicamente negativa. En el lanzamiento de una bola pesada, la fuerza aplicada al objeto es mayor y la velocidad es menor que en un lanzamiento de una bola más liviana. Cuánto más grande la Fuerza Máxima, más pequeña la Velocidad Máxima. Lo mismo es verdad para otras tareas motoras.”

Este paradigma, inspirado en la ley de Hill⁶, fue perfeccionado por varios autores, entre ellos González Badillo (2002, 2010, 2011, 2017) y Weakley (2019, 2020, 2023), estableciendo las conocidas curvas fuerza/velocidad (Figuras 9) y la metodología de trabajo VBT -Velocity Based Training- (entrenamiento basado en la velocidad), que ofrece, basándose en la mecánica clásica newtoniana, distintas variables de rendimiento. Por ejemplo, de acuerdo con el porcentaje de carga (%RM) que esté utilizando y a la velocidad que esté ejecutando el movimiento puedo determinar en qué tramo de la curva fuerza/velocidad me encuentro y que manifestación de la fuerza estoy realizando. Y más aún, cada ejercicio y cada %RM tendrían una velocidad asociada dependiendo esa carga (común a todas las personas). Bajo la misma premisa, se puede decir que se es más fuerte levantando una mayor carga (Kg) a la misma velocidad o aumentando la velocidad de ejecución con una misma carga⁷. Los beneficios principales son estimar de manera más rápida y precisa el

⁶ Relación que existe entre la fuerza y la velocidad concéntrica en una contracción muscular aislada. Tradicionalmente se propone que a mayor fuerza menor velocidad. The Heat of Shortening and the Dynamic Constants of Muscle. A. V. Hill. *Proc. R. Soc. Lond. B* 1938 126, 136-195.

⁷ Se distingue entre Velocidad Media durante todo el recorrido (Mean Velocity), Velocidad Pico (Peak Velocity) y sus variantes sin la fase de frenado (Velocidad Media Propulsiva).

RM y ser un gran predictor de fatiga mediante la pérdida de velocidad en la ejecución inter e intraserie: más cerca del límite de repeticiones (fallo muscular considerado donde no se puede realizar otra repetición) se reduce la velocidad de ejecución (menor acortamiento y velocidad de transmisión por fatiga neuromuscular) y se incrementan la dificultad percibida del ejercicio (fatiga perceptual) y la concentración de metabolitos celulares como el amonio y el lactato (fatiga metabólica) (Weakley et al., 2019; Jovanovic et al., 2014 ; Badillo et al., 2010).

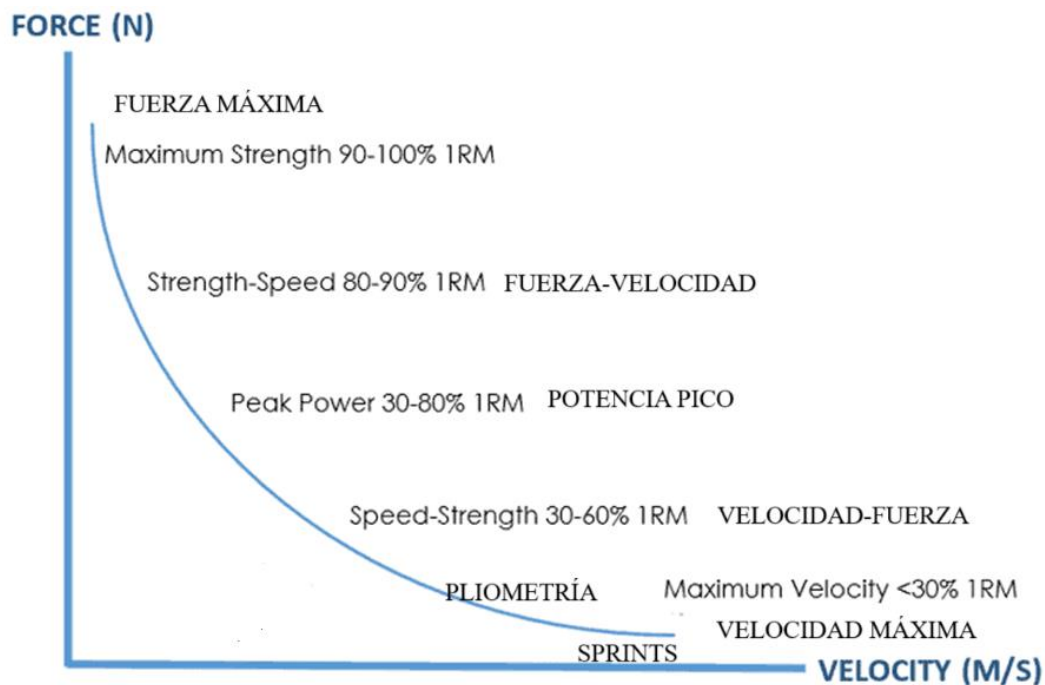


Figura 9. Adaptada de <https://www.scienceforsport.com/force-velocity-curve/>

Entre las manifestaciones de fuerza dependientes a la velocidad, la pliometría es la que más se asemeja a los gestos deportivos: saltos, lanzamientos, cambios de dirección, ciclo de carrera, etc. La pliometría, del griego plythein (incrementar metros medida), hace alusión a todos los

movimientos que implican un Ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) -Stretch Shortening Cycle (SSC)-. Este ciclo consiste en tres fases (Davies et al., 2015):

-Fase Excéntrica o de absorción de fuerzas mediante el estiramiento de los componentes contráctiles y no contráctiles del tejido articular (músculo y órgano tendinoso de Golgi, filamentos de titina y mermiosina del sarcómero y tendón). La acción conjunta de los mismos contribuye a la potenciación del rendimiento mecánico en la fase concéntrica, pero se ve fuertemente perjudicada por la fatiga.

-Fase Isométrica o de amortización, aludiendo al tiempo que tarda en sobreponerse al trabajo excéntrico y producir la fuerza generada para acelerar la contracción muscular. A menor tiempo más energía es aprovechada sin disiparse como calor. También se refiere al momento de mayor %MVC (Jarvis et al., 2016) incrementándose a medida que aumentan las fuerzas recibidas para contrarrestarlas, por ejemplo, en el aterrizaje de una caída contra el suelo.

-Fase concéntrica, cuando se realiza el acortamiento de las estructuras que soportaron el estiramiento y la transferencia de energía de aquellas que no se contraen pero que restituyen su longitud natural.

Esta conjunción de fases resulta más que la adición de cada una, provocando fuerzas mayores a las que podrían darse sólo en la contracción concéntrica. Esta cualidad de restitución depende de la capacidad de resistir la deformación denominada rigidez articular o stiffness, además de la fuerza aplicada y del tiempo. El conjunto de estas variables funciona de manera compleja e intrincada determinando la intensidad de las acciones y se analiza a continuación:

1) **Tiempos de contacto** (y por lo tanto de aplicación de fuerzas).

Se suele distinguir entre los tipos de CEA (ciclo estiramiento-acortamiento), lentos (300-500ms y grandes desplazamientos angulares articulares) y rápidos (100-200ms, y por lo tanto, menores desplazamientos angulares) (Schmidtbleicher, 1986). El mismo autor señala:

“En muchas evaluaciones de salto (por ejemplo: test de Saltar y Alcanzar, test de Abalakov) como también en técnicas específicas del deporte, tales como saltar para bloquear en voleibol o saltos en básquetbol, se demanda el CEA lento. Generalmente, para este tipo de saltos hay un contramovimiento. Los CEA cortos se pueden observar en las fases de contacto con el suelo de la carrera, en los saltos en alto y en largo, y en las fases de despegue de la mayoría de los saltos de los juegos deportivos. Estos saltos se caracterizan por el movimiento de rebote, que puede compararse con una gota de agua cayendo sobre una superficie dura. Debido a diferentes factores biomecánicos y fisiológicos, los CEA lentos y rápidos se deben entrenar de modos diferentes.”

Mayores tiempos de contacto tendrían mayores requerimientos musculares y menos aprovechamiento del CEA, pero habría que considerar las fuerzas recibidas ya que no son las mismas al realizar un contramovimiento para lanzar una pelota, que para saltar o que incluso al caer desde una altura.

2) **Fuerzas de contacto.** Refieren a las fuerzas (calculadas en Newtons) en un punto de contacto establecido, por ejemplo, las fuerzas que desarrollan mis manos para recibir/enviar un pase, y que tratándose de saltos se suelen asociar a las fuerzas que

recibo y aplico en el piso (se las conoce como GRF – Ground Reaction Forces). Según qué autor, pueden diferir en Fuerzas de Fase Excéntrica (GRF-L, fuerzas de aterrizaje) y Fuerzas de Fase Concéntrica (GRF-T, fuerzas de despegue). Otros autores las consideran de manera unificada como las fuerzas que absorben las articulaciones, estableciendo una curva que varía en el tiempo y cuya máxima expresión llaman fuerza-potencia pico -Peak Power-. Van Lyseshout et. al (2014) la establecerían como una de las maneras más fiables de cuantificar la intensidad pliométrica.

- 3) Stiffness o capacidad CEA-SSC. Esta cualidad sería muy difícil de medir ya que si bien muchos investigadores utilizan electromiografías (EMG's) para medir la rigidez y activación muscular estarían dejando de lado la actividad tendinosa, por lo que se suele estimar mediante el cociente entre el resultado mecánico (tiempo de vuelo) y el tiempo de contacto. Este procedimiento se denomina **“Índice de Fuerza Reactiva” (RSI – Reactive Strength Index)** y se utiliza exclusivamente para saltos en una escala de puntuación de 0 a 3 (representando mayor reactividad y aprovechamiento del CEA a mayor número) pero no he encontrado variantes para otro tipo de movimientos.

En la práctica, cómo en este último caso, muchos de estos parámetros de carga interna se infieren, por simpleza y rapidez, con la carga externa y el rendimiento mecánico. De tal manera, Paavo Komi y Carmelo Bosco, dos pioneros en el área, se centraron en la aproximación de las leyes físicas para estimar la altura de salto, potencia, trabajo, etc. mediante el tiempo de vuelo, llegando a la ecuación de la Figura 10.

The total displacement of C.G. (h) can then be obtained as follows:

$$h = \frac{g t_f t_c}{8} + \frac{g t_f^2}{8} = \frac{g t_f t_t}{8}$$

where t_f = flight time of one jump; t_c = contact time of one jump; t_t = total time of one jump = $t_f + t_c$, and g = gravitational constant (9.81 m/s^2).

Figura 10. Cálculo de la altura de salto, o más precisamente, del desplazamiento (h) del Centro de Gravedad/Centro de Masa (CG). Donde t_f = tiempo de vuelo de un salto; t_c = tiempo de contacto de un salto; $t_t = t_f + t_c$ = tiempo total de un salto; g = constante gravitacional respecto a una masa en la superficie terrestre (9.81 m/s^2). Extraído de Bosco & Komi (1983).

A propósito de esto, Flanagan y Comyns (2008) comentan:

“La capacidad para producir potencia durante la realización de un salto vertical ha sido correlacionada con el rendimiento en numerosos deportes. El monitoreo de la altura de salto durante el entrenamiento pliométrico ayuda a los entrenadores a asegurar que los atletas están realizando esfuerzos con la máxima producción de potencia. En el ambiente de entrenamiento, la altura de los saltos puede valorarse a partir de los datos obtenidos con una manta de contacto que indicarán cuanto tiempo se mantiene un atleta en el aire (tiempo de vuelo).”

Respecto a la utilidad del RSI, agregan:

“Si los entrenadores de la fuerza solo examinan los tiempos de contacto durante el entrenamiento pliométrico, los atletas pueden alterar sus estrategias de salto para reducir el tiempo de contacto, pero a expensas de la producción de potencia. Similarmente, si sólo se examina la altura de salto, los atletas pueden

producir gran potencia, pero utilizar tiempos de contacto largos, violando así el principio de especificidad del entrenamiento.”

Confluyendo la fuerza, la pliometría y la resistencia es donde encontramos los trabajos cíclicos como la natación, la carrera, el ciclismo, el salto a la soga, etc. Estas actividades si bien suelen ser medidas por los parámetros de resistencia (%Vo₂, lactato, %FC), también se establece la relación de éstas con variables con la **longitud, la frecuencia y la duración de la zancada/brazada/pedaleo/salto** que permiten estimar la potencia y la velocidad. Por ejemplo, Mercer et. al (2009) establecen que mayores velocidades aumentan el consumo de oxígeno y la aparición de lactato, y que, además, habría un intervalo de frecuencia de zancadas óptimo para distintas velocidades.

Aquí es donde las preguntas por el metrónomo, aproximando **tiempos de ejecución** en distintas partes de la curva fuerza velocidad (por ejemplo, tiempos de movimiento de una barra, tiempos de contacto y de vuelo, ciclo completo de zancada/brazada, etc), vuelven a tomar relevancia como métodos de medir la fatiga, rendimiento e intensidad.

De esta manera, es que se definen los últimos parámetros objetivos de medición (nuestras herramientas de feedback aumentado.

Sin embargo, otro aspecto muy importante es la cuantificación de la intensidad basada en las percepciones y sensaciones propias, las herramientas que actúan de feedback intrínseco, como, por ejemplo:

Rate of Perceived Exertion - RPE - (Escala de Percepción del Esfuerzo), popularizada por Gunnar Borg en 1970 y modificada en 1982, asignaba valores del 0 al 20 y 0 al 10, respectivamente, para cuantificar el esfuerzo que el ejecutante consideraba haber realizado. Se

asociaba a expresiones físicas notorias como la capacidad de hablar y valores como el cociente respiratorio y la frecuencia cardíaca.

Repetitions in Reserve - RIR - (Repeticiones en Reserva), estudiada por Zourdos et al. (2016), asigna valores de repeticiones que podría seguir ejecutando, teniendo menos precisión cuanto mayor es la cantidad de repeticiones que podría haber hecho, pero quedan sin hacer. Como ejemplo, se puede decir que el análogo del RIR 0 es lo más próximo al concepto de fallo muscular.

Parámetros

Distancias (longitud zancada, altura de salto, desplazamiento de la barra/objeto), Tiempo (intervalo entre eventos e.g. tiempos de vuelo en salto -desde que dejo de tocar el suelo hasta que vuelvo a tocarlo-), Velocidad, Fuerza, Potencia, Trabajo, %FC, %Vo2, %RM, lact-1, RPE, RIR, Stiffness, RSI.

Relación Interparamétrica

Si bien estas dos últimas escalas son subjetivas y algunos autores afirman que podrían tener algunas variaciones dependiendo el sexo, los años de entrenamiento y el tipo de entrenamiento a realizar, las diferencias no serían tan determinantes y contarían con una validez revisada y alta correlación entre ellas y con otro tipo de escalas de carácter más objetivo (Petro et al., 2024). La RPE tendría una relación lineal con el %RM e inversa con la velocidad de ejecución (Helms, 2016, 2017; Weakley, 2021) y el RIR (Zourdos et al., 2016). La relación entre concentraciones de lactato, reducción de la velocidad de la ejecución y rendimiento mecánico también merecería atención en

distintos ejercicios (Weakley,) incluido el salto (Komi & Bosco, 1983; Flanagan y Comyns, 2008). En el anexo se adjuntan figuras que clarifican algunas relaciones para su uso práctico.

3. Acciones de campo

3.1. Apartado metodológico

Se ha interiorizado en la utilización de distintos protocolos metodológicos eligiendo por relevancia y actualidad el PRISMA 2020 (por sus siglas en inglés Preferred Reporting Items of Systematic reviews and Meta-analyses) (Page et. al, 2021). El mismo establece distintos criterios de difícil replicabilidad por las características de esta investigación de grado: propone la revisión en grupo, distintas personas que colaboran con la selección y el filtrado de estudios. Por lo tanto, si bien intentaré explicar y reproducir dichos pasos, me sincero con el lector sobre la calidad en la realización. Además, se debe considerar el carácter exploratorio y de innovación de esta investigación, lo que podría dificultar la recolección de datos, siendo muchas de las fuentes recientes y de restringido acceso.

3.1.1. Criterios de elegibilidad.

Para ser incluidos en la presente revisión, los estudios debían cumplir los siguientes criterios de elegibilidad:

(1) utilización y preponderancia de los bpm del metrónomo, o dispositivo análogo, como intervalo temporal, (2) utilizar alguno de los parámetros de medición de intensidad descritos en el marco teórico, (3) diseño experimental que reporte información conclusiva de manera estadístico-descriptiva, (4) los sujetos experimentales debían ser personas deportistas o personas expuestas a

un tipo de entrenamiento durante la realización del estudio (se excluyen casos clínicos), (5) estar escritos en idioma español o inglés, (6) ser estudios publicados en revistas que presentan revisión por pares.

3.1.2. Revisión de literatura

La búsqueda de información comprendió los meses de agosto y septiembre, principalmente en la base de datos Google Scholar (Google Académico) que luego direccionó a distintas como Pubmed, Springer Link, ScienceDirect, Elsevier, ResearchGate, Frontiers, Taylor & Francis. Algunos de los artículos se encontraban restringidos de acceso por lo que se solicitó el mismo a sus autores obteniendo sólo respuesta de uno de los mismos. Se utilizaron las siguientes palabras clave en inglés y en castellano, con sus múltiples combinaciones:

metrónomo, música, tempo, ritmo, cadencia, fuerza, velocidad, resistencia, método VBT, pliometría, ciclo estiramiento-acortamiento, feedback, métricas, intensidad, fatiga.

3.1.3. Selección de estudios

Un criterio fundamental fue la elección de estudios que investiguen la mejora en el plano de las capacidades condicionales y mecánicas excluyendo algunos de corte más cognitivo. Otro criterio utilizado para discriminar fue el rol que se le otorgaba a la esencia del dispositivo. Se descartaron varios estudios que hacían énfasis en la música como potenciador del rendimiento, debido a si era o no de agrado del participante, pero que no hacían alusión a los BPM en que se reproducía, pasando por alto la noción de ritmo o intervalo que permite la división temporal. Del mismo modo, se incluyeron algunos elementos que, si bien no eran metrónomos estrictamente, cumplían su misma función de ciclo (por ejemplo, las RPM -revoluciones por minuto-, los pasos, saltos, brazadas, etc. por minuto).

3.1.4. Calidad de estudios, heterogeneidad y sesgo

Como decisión del autor, por las fuentes de donde fueron obtenidos los estudios que implican una revisión por pares, y por el número de la muestra, se les otorgo la misma calidad inicial. Se evalúa la posibilidad de evaluación de riesgo de sesgo mediante Cochran o escala propia para futuros estudios y se tiene en cuenta que son muestras acotadas.

La Figuras 11 demuestra de forma detallada el proceso de búsqueda de información realizado en la revisión. Se realizó manualmente por el autor sin la utilización de herramientas automáticas o de inteligencia artificial.

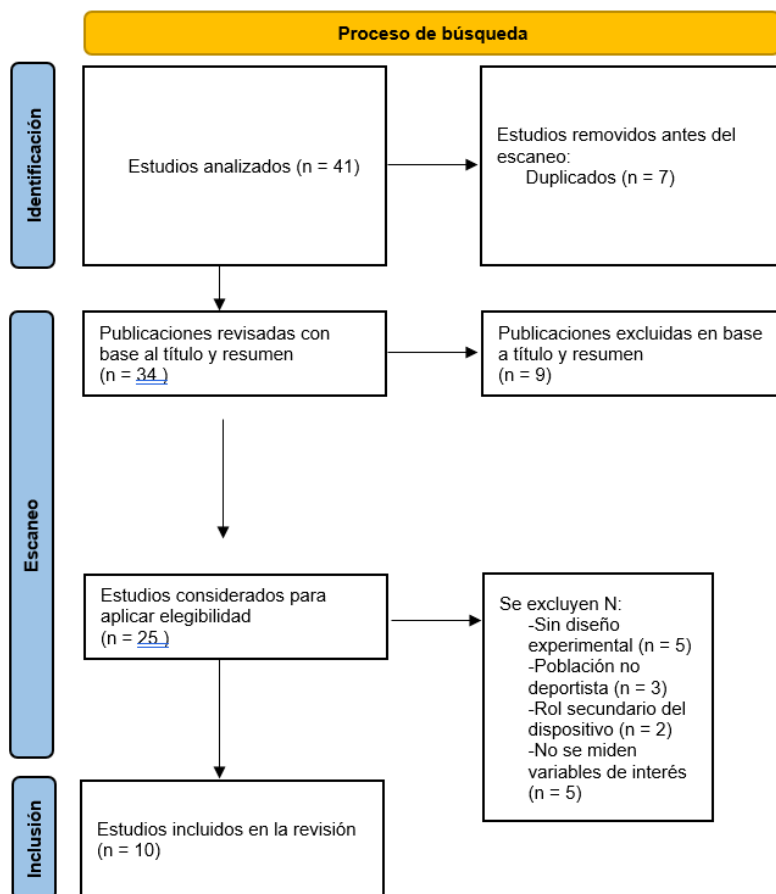


Figura 11. Proceso de búsqueda.

A manera de facilitar la búsqueda al lector, en la Tabla 1 se detallan los estudios seleccionados. De la simple lectura de esa tabla, se desprende que la pregunta de la utilización del metrónomo en distintos deportes era pertinente ya que vemos el amplio abanico que cubre: salto a la soga, entrenamiento de pesas, running (pedestrismo), ciclismo, taekwondo, etc. Es así como podemos señalar que cubre un amplio espectro de acción tanto para deportes de resistencia, de fuerza, de velocidad-pliometría. También, aunque no se observaron particularidades en la población participante (más allá de la condición de atleta), se detalla que el número de muestra no es muy grande.

Estudio (muestra)	Nombre
Gentil et. al, 2018 (n = 21)	Using Velocity loss for monitoring resistance training effort in a real-world setting.
Leung et.al, 2017 (n = 44)	The corticospinal responses of metronome-paced, but not self-paced strength training are similar to motor skill training.
Moras et.al, 2009 (n = 15)	A Metronome for Controlling the Mean Velocity During the Bench Press Exercise.
Huber & Verhoff, 2024 (n = 33)	A One Session Gait Retraining Protocol with Metronome Augmentation Increases Cadence in Novice and Recreational Runners.
Waterhouse & Edwards, 2010 (n = 12)	Effects of music tempo upon submaximal cycling performance.
Messaoudi et. al, 2024 (n = 16)	Acute effects of plyometric-based conditioning activity and warm-up music stimuli on physical performance and affective state in male taekwondo athletes.
Kim et.al, 2018 (n = 20)	Training effects of Interactive Metronome® on golf performance and brain activity in professional woman golf players.
Bood et.al, 2013 (n = 19)	The Power of Auditory-Motor Synchronization in Sports: Enhancing Running Performance by Coupling Cadence with the Right Beats.
Zhou et.al, 2024 (n = 12)	Rhythmic Mastery: Biomechanical Investigation of Cycle-tempo Induced Motor Control Changes in Elite Jump Rope Athletes.
Jones et.al, 2024 (n = 24)	The exercise intensity-music-tempo preference relationship: A decennial revisit.

Tabla 1. Estudios seleccionados

3.2. Trabajo de campo

De acuerdo con los objetivos del trabajo se recabó información de variada índole respecto a intensidades de las capacidades de fuerza, resistencia y velocidad, ponderando distintos parámetros físicos y psico-fisiológicos utilizados con frecuencia en el entrenamiento deportivo. Podemos ver que este propósito también se encontraría encaminado ya que se mencionan varios de éstos en los mismos objetivos de las investigaciones (Tabla 2) y en su cuerpo de trabajo (Tabla 3). Los mismos se especifican nuevamente en la Tabla 5.

Estudio (muestra)	Objetivo
Gentil et. al, 2018 (n = 21)	Evaluar si la pérdida de velocidad a distintos %RM era predictor de la proximidad al fallo.
Leung et.al, 2017 (n = 44)	Evaluar cambios corticoespinales y de fuerza en diferentes métodos de entrenamiento (MPST -guiado por metrónomo-, SPST -autoguiado-).
Moras et.al, 2009 (n = 15)	Evaluar la validez del metrónomo respecto de un encoder lineal en banco plano.
Huber & Verhoff, 2024 (n = 33)	Evaluar la efectividad del metrónomo incrementando la cadencia de carrera en corredores novatos.
Waterhouse & Edwards, 2010 (n = 12)	Evaluar el efecto de música a distintos tempos en ciclistas.
Messaoudi et. al, 2024 (n = 16)	Evaluar el efecto agudo de entrenamiento pliométrico y música a diferentes tempos en test específicos de taekwondistas.
Kim et.al, 2018 (n = 20)	Evaluar el efecto del programa Interactive Metronome (IM) en golfistas femeninas.
Bood et.al, 2013 (n = 19)	Comparar los efectos de la carrera en un grupo con la intervención de música y metrónomo, otro con sólo metrónomo y uno sin estímulo acústico.
Zhou et.al, 2024 (n = 12)	Evaluar las diferencias en el salto a la soga a distintas RPM (revoluciones - vueltas de la soga- por minuto).
Jones et.al, 2024 (n = 24)	Evaluar los efectos fisiológicos y psicológicos de musica instrumental conocida y desconocida a distintos tempos en disintas intensidades de ejercicio.

Tabla 2. Objetivos de los estudios. MPST = Entrenamiento de fuerza guiado por metrónomo. SPST = Entrenamiento de fuerza autoguiado.

Además, en consideración de la Tabla 3, se expone la utilización fundamental de los BPM (o RPM en un caso) y de la noción temporal del metrónomo. La lectura de las metodologías realizadas en cada estudio no reveló si la utilización del metrónomo se realizó de manera simultánea o individual con los participantes, es decir, sometidos al mismo beat. Muy interesante resulta el aporte de Moras et.al (2009) estableciendo un R como ritmo asociado a una intensidad y la opción de ejecutar a distintos % de ese R.

Estudio (muestra)	Objetivo	Resultado	Comentario
Gentil et. al, 2018 (n = 21)	Evaluar si la pérdida de velocidad a distintos %RM era predictor de la proximidad al fallo.	La Velocidad Media Propulsiva se redujo en las repeticiones cerca del fallo	Difiere de otras investigaciones parecidas que piden ejecutar a máxima velocidad. Introduce un tiempo fijo de repetición utilizando el metrónomo a 60 bpm para que los ejecutantes intenten coincidir con el beat y realizar cada repetición en 2 segundos en fase excéntrica y 2 segundos en concéntrica
Leung et.al, 2017 (n = 44)	Evaluar cambios corticoespinales y de fuerza en diferentes métodos de entrenamiento (MPST -guiado por metrónomo-, SPST -autoguiado-).	Aunque el SPST produjo las mejoras ganancias de fuerza (12-26%), el MPST logró mejoras en la fuerza similares (7-18%) y mejoras en la excitabilidad corticoespinal, plasticidad y seguimiento de error semejantes a habilidades técnicas.	El SPST podría tener mayor ganancia de fuerza ya que al no estar delimitado temporalmente podría aumentar el ritmo, la velocidad de ejecución y, por lo tanto, la fuerza aplicada. Tiempos más rápidos en el metrónomo podrían incrementar fuerza. No se midió la resistencia muscular que podría ser mayor por mayores tiempos de ejecución. Se utilizó el metrónomo para que cada repetición de un 80%RM de curl de bíceps se realice a 4s excéntricos y 3s concéntricos. (60bpm)
Moras et.al, 2009 (n = 15)	Evaluar la validez del metrónomo respecto de un encoder lineal en banco plano.	La Velocidad Media (p = 0.98), el tiempo (p = 0.95) y la distancia o desplazamiento de la barra (p = 0.8) muestran grandes correlaciones a medida que aumentan las cargas pero sin llegar al ritmo máximo.	Podría reducirse el rango de movimiento para llegar a el beep marcado por el metrónomo. Se utiliza el metrónomo calculando una R (ritmo máximo al que puede desplazarse un determinado %RM en la fase concéntrica) gracias al uso del encoder lineal y distintos % R para distintos %RM.
Huber & Verhoff, 2024 (n = 33)	Evaluar la efectividad del metrónomo incrementando la cadencia de carrera en corredores novatos.	Se aumenta un 5% la cadencia sin alterar otros parámetros como RPE, Frecuencia Cardíaca y variables biomecánicas/cinématicas	El metrónomo fue programado, en distintos grupos, en un 5% y 10% superior a la cadencia promedio medida en el test Cooper de 12 minutos (160 +-).
Waterhouse & Edwards, 2010 (n = 12)	Evaluar el efecto de música a distintos tempos en ciclistas.	Incremento de la FC, Potencia, Velocidad y descenso de la RPE a mayores tempos.	El tempo máximo alcanzado fue de 141 bpm. No se utiliza directamente un metrónomo pero se utilizaron canciones con tempo lento, medio y rápido sin establecer rangos, cumpliendo la misma función.
Messaoudi et. al, 2024 (n = 16)	Evaluar el efecto agudo de entrenamiento pliométrico y música a diferentes tempos en test específicos de taekwondistas.	La música preferida a altos BPM (130 aprox) induce un efecto de potenciación mejorando el rendimiento (mejora la frecuencia de patadas por tiempo) y disminuyendo la RPE	No se utiliza directamente un metrónomo pero se utilizaron canciones con tempo lento (93+-5 bpm) y rápido (130+-4 bpm), cumpliendo la misma función.
Kim et.al, 2018 (n = 20)	Evaluar el efecto del programa Interactive Metronome (IM) en golfistas femeninas.	Mejoras a nivel cerebral, coordinativo, precisión y velocidad del swing.	Interactive Metronome es un programa que busca entrenar el apretar un botón en un ritmo determinado. Es una variación patentada de un metrónomo pero respetando sus mismos principios. El protocolo describe utilizar 54bpm para todas las sesiones de práctica.
Bood et.al, 2013 (n = 19)	Comparar los efectos de la carrera en un grupo con la intervención de música y metrónomo, otro con sólo metrónomo y uno sin estímulo acústico.	El grupo música y metrónomo tuvo los mejores rendimientos ya que la primera aumentaría la frecuencia cardíaca y disminuiría el esfuerzo percibido, mientras que el segundo optimizaría la cadencia.	El TTE (Tiempo hasta extenuación) fue más largo en el grupo metrónomo y metrónomo-música. Los BPM de las canciones fueron acelerados estableciendo los tempos en un rango desde 158 hasta 181bpm. Esto fue realizado para hacerlos coincidir con cada zancada.
Zhou et.al, 2024 (n = 12)	Evaluar las diferencias en el salto a la soga a distintas RPM (revoluciones - vueltas de la soga- por minuto).	A mayores RPM, se utilizarían menores tiempos de contacto y un menor desplazamiento del centro de gravedad (por ende, menor altura de salto). La rigidez articular aumenta así como el aprovechamiento de energía.	No se utiliza un metrónomo de manera directa pero en los fines prácticos es la misma función. Las RPM equivalen a los BPM. Se realizaron pruebas a 100, 140 y 180RPM estableciendo 140RPM como el umbral hasta donde la FC y el Vo2 tienen relación directa.
Jones et.al, 2024 (n = 24)	Evaluar los efectos fisiológicos y psicológicos de música instrumental conocida y desconocida a distintos tempos en distintas intensidades de	El rango de tempo rápido (130-150bpm) fue el que obtuvo la mayor disminución del RPE a distintas intensidades	No se utiliza directamente un metrónomo pero se utilizaron canciones con tempo lento (90bpm), medio (110bpm), rápido (130bpm) y muy rápido (150bpm), cumpliendo la misma función.

Tabla 3. Detalle de los estudios

3.2.1. Comparación entre resultados obtenidos

Mediante escrutinio de metodologías y conclusiones de los trabajos se entiende que en todos los casos la utilización del metrónomo, o análogo, reportó utilidad y mejoras significativas en uno o varios parámetros, lo que señalaría como los beneficios se podrían dar en varias capacidades físicas. Por ejemplo, como es el caso de Waterhouse & Edwards (2010), donde se señala incremento en potencia, resistencia y velocidad. Además, las ventajas podrían darse en una misma capacidad a través de la mejora de los distintos indicadores que la estiman, siendo el caso

de RPE y FC en el mismo estudio. Para simplificar el análisis, se le atribuyó a cada estudio la capacidad principal que intentaban trabajar de acuerdo con los protocolos y tiempos de trabajo realizados, incluso a los que mejoraron varios aspectos como en Waterhouse & Edwards (2010). De esta manera, en la Tabla 5, se estipulan los parámetros mejorados y la capacidad principal según estudio.

Estudio (muestra)	Parámetro	Tipo de feedback	Capacidad
Gentil et. al, 2018 (n = 21)	%RM - Vel, RIR	Aumentado - KP	Fuerza
Leung et.al, 2017 (n = 44)	%RM - Vel.	Aumentado - KP	Fuerza
Moras et.al, 2009 (n = 15)	%RM - Vel.	Aumentado - KP - KR	Fuerza
Huber & Verhoff, 2024 (n = 33)	Cadencia zancada y distancia por unidad de tiempo (velocidad)	Aumentado - KP	Resistencia
Waterhouse & Edwards, 2010 (n = 12)	Frecuencia Cardíaca, RPE, Potencia, Distancia por unidad de tiempo (velocidad)	Aumentado - KP	Resistencia
Messaoudi et. al, 2024 (n = 16)	Velocidad y RPE	Aumentado - KP	Velocidad
Kim et.al, 2018 (n = 20)	Velocidad	Aumentado - KP	Velocidad
Bood et.al, 2013 (n = 19)	Cadencia, Resistencia, Velocidad y RPE	Aumentado - KP	Resistencia
Zhou et.al, 2024 (n = 12)	Stiffness, Altura de Salto, Tiempos de Contacto, Velocidad	Aumentado - KP	Velocidad
Jones et.al, 2024 (n = 24)	RPE	Aumentado - KP	Resistencia

Tabla 5. Relación estudio con parámetro utilizado, tipo de feedback y capacidad.

Gracias a la observación de las Tablas 4 y 5, podemos suponer que las mejoras asociadas a fuerza se dieron con bpm más bajos, mientras que los estudios que reportan mejoras a mayores tempos se orientaron a la velocidad y la resistencia. Esto podría tener base en la curva fuerza-velocidad siendo que la expresión de fuerza requiere más tiempo, y se supone que los intervalos más espaciados (60 bpm) son lo que refieren a un paso del tiempo más lento. Por otro lado, las actividades cíclicas, pliométricas y de velocidad requieren intervalos muy cortos (>130bpm) que supondrían un paso más rápido del tiempo y una más veloz ejecución. Se excluye el caso de Kim

et. al (2018) ya que el swing del golf se realiza una única vez a máxima velocidad por lo que habría que analizar los niveles de potencia y fuerza en ese gesto. Además, refiere a la variante de metrónomo patentada por lo que podría haber algún matiz que no se esté teniendo en consideración. Otra particularidad a tener en cuenta es que en Jones et. al (2024) se describe la diferencia de utilizar ritmos de canciones conocidas, desconocidas, instrumentales y cantadas, queriendo comprobar si existe una brecha entre música y tempo plano. Se afirma que más investigaciones serán necesarias.

Vemos en los Gráficos 1 y 2 que del total de los estudios ($n = 10$), el 30%⁸ ($n = 3$) se refirió a velocidad (distancias, velocidades, potencia, cadencias, tiempos de vuelo, etc.), otro 30% ($n = 3$), a fuerza (principalmente %RM), y un 40% ($n = 4$) a resistencia (RPE⁹, FC). Sin negar el hecho de que no son muchos los estudios recopilados que investigan capacidades físicas, la proporción equitativa nos revelaría la importancia de la utilización del metrónomo para las tres capacidades.

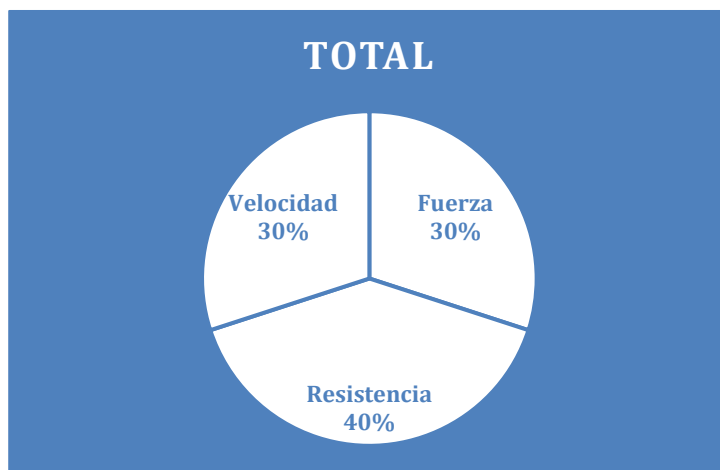


Gráfico 1. Porcentajes por capacidad.

⁸ Los porcentajes son redundantes al estar basados en una muestra total de 10 pero se expresan para respetar la formalidad del trabajo.

⁹ Aunque se mostró que el RPE es una variable fisio-psicológica que puede estar asociada a fuerza, velocidad o resistencia, la mayoría de los estudios la asociaron a esta última.

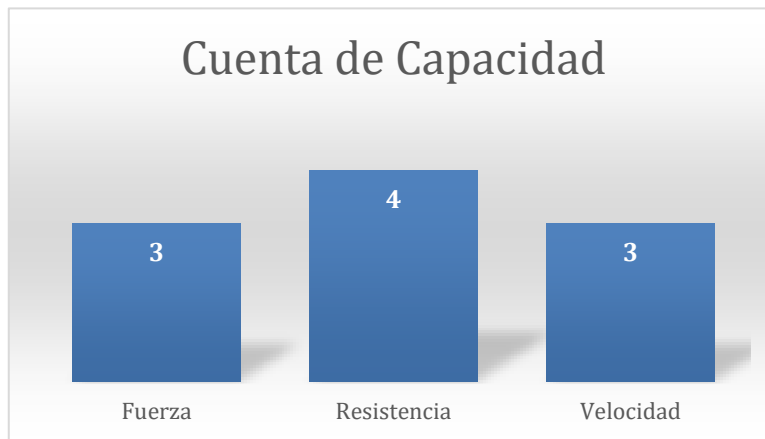


Gráfico 2. Cantidad por capacidad.

Por último, y aludiendo a los tipos de feedback, en todos los estudios se lo utilizó como herramienta de feedback aumentado y KP, sirviendo para orientar nuestro desempeño. Igualmente, se destaca su validación con encoder en Moras et. al (2009) sirviendo como KR.

4. Conclusión

La escasa bibliografía podría tener sus raíces en la actual y amplia brecha que se ve con respecto al entrenamiento cognitivo. Estudios que intenten unir ambas modalidades (el entrenamiento basado en capacidades condicionales y el entrenamiento cognitivo) podrían ser esclarecedores, establecer nuevas relaciones y dar mayor utilidad al metrónomo. Se considera que las investigaciones, aunque prometedoras, no son suficientes para una explicación conclusiva pero que contribuyen, dado a lo reciente de las mismas, al incipiente sustento del metrónomo en distintas áreas. Iniciativas que reparen en la relación del metrónomo con más parámetros podrían aportar a la construcción de esa base.

4.1.1 Futuro y posibles aplicaciones

Los intervalos temporales que registra el metrónomo tienen la capacidad de ser más precisos que un reloj por lo que podrían ser muy útiles en el cálculo de distancias y

velocidades potenciando su uso como KR. Del mismo modo, al igual que funciona la alfombra de salto, podría considerarse el metrónomo para estimar el tiempo de vuelo y la altura alcanzada a través de algunas modificaciones a la ecuación de Bosco & Komi (1983), incluso podría programarse el beat para que dure entre los milisegundos correspondientes al tipo de salto. También podría ser importante para que las personas o establecimientos que utilicen música sean más conscientes en sus elecciones. Debería profundizarse en la ejecución a distintos tempos para cada capacidad.

5. Referencias

Diccionario:

-Real Academia Española. (2023). Metrónomo, métrica, sistema, metro. En Diccionario de la lengua española. Recuperados en 10 de septiembre de 2024.

Páginas Web:

-Metrónomo. Métrica. (10 de septiembre de 2024). En *Wikipedia*.

<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Metr%C3%B3nomo&oldid=163446650>

[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A9trica_\(desambiguaci%C3%B3n\)&oldid=141120000](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A9trica_(desambiguaci%C3%B3n)&oldid=141120000)

-RPE and RIR: The complete guide. MASS Research Review.

<https://massresearchreview.com/2023/05/22/rpe-and-rir-the-complete-guide/>

-Rezzonico, G. (s.f.). *De la teoría a una práctica eficiente*. Mundo Entrenamiento.
<https://mundoentrenamiento.com/velocity-based-training/>

-Vitruve. *Entrenamiento basado en la velocidad: guía definitiva*.

<https://vitruve.fit/es/blog/entrenamiento-basado-en-la-velocidad-guia-definitiva/>

6. Bibliografía

-Ballmann C. G. (2021). The Influence of Music Preference on Exercise Responses and Performance: A Review. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 6(2), 33.
<https://doi.org/10.3390/jfmk6020033>

-Bianco, V., Berchicci, M., Perri, R. L., Quinzi, F., & Di Russo, F. (2017). Exercise-related cognitive effects on sensory-motor control in athletes and drummers compared to non-athletes and other musicians. *Neuroscience*, 360, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.07.059>

-Bonus, A. (2010). The Metronomic Performance Practice: A History of Rhythm, Metronomes, and the Mechanization of Musicality.

-Bood RJ, Nijssen M, van der Kamp J, Roerdink M (2013) The Power of Auditory-Motor Synchronization in Sports: Enhancing Running Performance by Coupling Cadence with the Right Beats. *PLoS ONE* 8(8): e70758. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070758>

-Borg G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise*, 14(5), 377–381.

-Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 50(2), 273–282. <https://doi.org/10.1007/BF00422166>

-Davies, G., Riemann, B. L., & Manske, R. (2015). CURRENT CONCEPTS OF PLYOMETRIC EXERCISE. *International journal of sports physical therapy*, 10(6), 760–786.

-Elliot, D., Carr, S., & Orme, D. (2005). The effect of motivational music on sub-maximal exercise. *European Journal of Sport Science*, 5(2), 97–106. <https://doi.org/10.1080/17461390500171310>

-Flanagan, E.P., & Comyns, T.M. (2008). The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training. *Strength and Conditioning Journal*, 30, 32-38.

-Gentile, A. M. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest*, 17, 3–23. <https://doi.org/10.1080/00336297.1972.10519717>

-González Badillo, J. J. (1991). *Libros Tecnicos Deportivos: Halterofilia*. Comité Olimpico Espanol.

-González Badillo, J. J. (2017). *La velocidad de ejecución como referencia para la programación, control y evaluación del entrenamiento de fuerza*. Juan José González Badillo.

-González Badillo, J. J., & Ribas Serna, J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. INDE.

-González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International journal of sports medicine*, 31(5), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>

-González Badillo, J. J., Marques, M. C. y Sánchez Medina, L. (2011). The importance of Movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *Journal of Human Kinetics*, 15-19.

-Grosser, M., Hermann, H., Tusker, F. y Zintl, F. (1989). *Alto Rendimiento Deportivo*. Barcelona: Martínez Roca.

-Gundlach, M. (1968). *Systembeziehungen koetrperlicher faehigkeiten und fertigkeiten*. Theorie und praxisder koerperkultur,.

-Gutiérrez Dávila, M. (1998). *Biomecánica Deportiva: Bases para el Análisis*. Síntesis Editorial.

-Helms, E. R., Cronin, J., Storey, A., & Zourdos, M. C. (2016). Application of the Repetitions in Reserve-Based Rating of Perceived Exertion Scale for Resistance Training. *Strength and conditioning journal*, 38(4), 42–49.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000218>

-Helms, E. R., Storey, A., Cross, M. R., Brown, S. R., Lenetsky, S., Ramsay, H., Dillen, C., & Zourdos, M. C. (2017). RPE and Velocity Relationships for the Back Squat, Bench Press, and Deadlift in Powerlifters. *Journal of strength and conditioning research*, 31(2), 292–297.
<https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000001517>

-Hewitt, P. G. (2007). *Física conceptual (10a. ed.)*. (V. A. Flores Flores, Trans.). Pearson Educación.

-Huber, A., & Verhoff, D. (2024). A One Session Gait Retraining Protocol with Metronome Augmentation Increases Cadence in Novice and Recreational Runners. *International journal of sports physical therapy*, 19(1), 1494–1502. <https://doi.org/10.26603/001c.90909>

-Jarvis, M. M., Graham-Smith, P., & Comfort, P. (2016). A Methodological Approach to Quantifying Plyometric Intensity. *Journal of strength and conditioning research*, 30(9), 2522–2532. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000000518>

-Jones, L., Karageorghis, C. I., Ker, T., Rushton, C. J., Stephenson, S. R., & Wheeldon, I. L. (2024). The exercise intensity-music-tempo preference relationship: A decennial

revisit. *Psychology of sport and exercise*, 74, 102644.
<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2024.102644>

-José, A. (2009). *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento (Vol. 4)*. Funámbulos Editores.

-Jovanovic, M. y Flanagan, E. P. (2014). Researched applications of velocity-based strength training. *J Aust Strength Cond*, 22(2), 58-69. Corpus ID: 1898006.

-Karageorghis, C. I., & Priest, D. L. (2012). Music in the exercise domain: a review and synthesis (Part I). *International review of sport and exercise psychology*, 5(1), 44–66.
<https://doi.org/10.1080/1750984X.2011.631026>

-Kent, M. (2006). *The Oxford Dictionary of Sports Science & Medicine*. Oxford University Press.

-Kim, J. H., Han, J. K., & Han, D. H. (2018). Training effects of Interactive Metronome® on golf performance and brain activity in professional woman golf players. *Human movement science*, 61, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.07.005>

-Leung, M., Rantalainen, T., Teo, WP. (2017) The corticospinal responses of metronome-paced, but not self-paced strength training are similar to motor skill training. *Eur J Appl Physiol* 117, 2479–2492. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3736-4>

-Macdougall, R. (1902). The relation of auditory rhythm to nervous discharge. *Psychological Review*, 9(5), 460–480. <https://doi.org/10.1037/h0073901>

-McCrary, J. M., & Gould, M. (2023). Rhythm in sport: Adapted rhythmic training to optimize timing and enhance performance in athletes. *Journal of science and medicine in sport*, 26(11), 636–638. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.10.003>

-Messaoudi H, Ouergui I, Delleli S, Ballmann CG, Ardigò LP and Chtourou H (2024) Acute effects of plyometric-based conditioning activity and warm-up music stimuli on physical performance and affective state in male taekwondo athletes. *Front. Sports Act. Living* 5:1335794. doi:10.3389/fspor.2023.1335794

-Mitchell, J. H., Haskell, W., Snell, P., & Van Camp, S. P. (2005). Task Force 8: classification of sports. *Journal of the American College of Cardiology*, 45(8), 1364–1367. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.02.015>

-Moras, Gerard; Rodríguez-Jiménez, Sergio; Busquets, Albert; Tous-Fajardo, Julio; Pozzo, Marco; Mujika, Iñigo. A Metronome for Controlling the Mean Velocity During the Bench Press

Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(3):p 926-931, May 2009. | DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181a0752d

-Nader G. A. (2006). Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(11), 1965–1970. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233795.39282.33>

-Niebauer, J., Börjesson, M., Carre, F., Caselli, S., Palatini, P., Quattrini, F., Serratos, L., Adami, P. E., Biffi, A., Pressler, A., Rasmussen, H. K., Schmied, C., van Buuren, F., Panhuyzen-Goedkoop, N., Solberg, E. E., Halle, M., Gerche, A., Papadakis, M., Sharma, S., & Pelliccia, A. (2019). Brief recommendations for participation in competitive sports of athletes with arterial hypertension: Summary of a Position Statement from the Sports Cardiology Section of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *European journal of preventive cardiology*, 26(14), 1549–1555. <https://doi.org/10.1177/2047487319852807>

-Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical research ed.)*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

-Pallarés, JG; Morán-Navarro, R. (2012). Propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria. *Journal of Sport and Health Research*. 4(2):119-136.

-Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & González-Badillo, J. J. (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *International journal of sports medicine*, 35(11), 916–924.
<https://doi.org/10.1055/s-0033-1363985>

-Parra Martinez, Casiano (2014). Las capacidades físicas a través del trabajo cooperativo en la Educación Física. *EF Deportes*. <https://efdeportes.com/efd199/capacidades-fisicas-a-traves-del-trabajo-cooperativo.htm>

-Paulo Gentil, Vítor A. Marques, Josaphat P.P. Neto, Anna C.G. Santos, James Steele, James Fisher, Antonio Paoli, and Martim Bottaro. 2018. Using velocity loss for monitoring resistance training effort in a real-world setting. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 43(8): 833-837. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0011>

-Petancevski, E.L., Inns, J., Fransen, J., & Impellizzeri, F.M. (2022). The effect of augmented feedback on the performance and learning of gross motor and sport-specific skills: A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*.

-Petro, J. L., Ferrari, G., Cardozo, L. A., Vargas-Molina, S., Carbone, L., Kreider, R. B., & Bonilla, D. A. (2024). Validity of Rating of Perceived Exertion Scales in Relation to Movement

Velocity and Exercise Intensity During Resistance-Exercise: A Systematic Review. *Sports health*, 19417381241260412. <https://doi.org/10.1177/19417381241260412>

-Randell, A., Cronin, J., Keogh, J., Gill, N., Pedersen, M. (2011) Effect of Instantaneous Performance Feedback During 6 Weeks of Velocity-Based Resistance Training on Sport-Specific Performance Tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 87-93.

-Schmidtbleicher, D. (2007). Ciclo Estiramiento-Acortamiento del Sistema Neuromuscular: Desde la Investigación hasta la Práctica del Entrenamiento.

-Soriano, P. P., & Belloch, S. L. (2016). *Biomecánica básica: Aplicada a la actividad física y el deporte (Color)*. Paidotribo.

-Sors, F., Murgia, M., Santoro, I., & Agostini, T. (2015). Audio-Based Interventions in Sport. *The Open Psychology Journal*, 8, 212-219.

-Van Lieshout, K. G., Anderson, J. G., Shelburne, K. B., & Davidson, B. S. (2014). Intensity rankings of plyometric exercises using joint power absorption. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 29(8), 918–922. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.06.015>

-Vásquez Bonilla, A. (2021). *Medición de la saturación de oxígeno muscular y su implicación en la fatiga*. [Tesis Doctoral en Ciencias del Deporte, Universidad de Extremadura].

-Waterhouse, J., Hudson, P., & Edwards, B. (2010). Effects of music tempo upon submaximal cycling performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(4), 662–669. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00948.x>

-Weakley, J., Cowley, N., Schoenfeld, B. J., Read, D. B., Timmins, R. G., García-Ramos, A., & McGuckian, T. B. (2023). The Effect of Feedback on Resistance Training Performance and Adaptations: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 53(9), 1789–1803. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01877-2>

-Weakley, J.J., Mann, B., Banyard, H.G., McLaren, S.J., Scott, T.J., & García-Ramos, A. (2020). Velocity-Based Training: From Theory to Application. *Strength & Conditioning Journal*.

-Weakley, J., McLaren, S., Ramirez-Lopez, C., García-Ramos, A., Dalton-Barron, N., Banyard, H., ... Jones, B. (2019). Application of velocity loss thresholds during free-weight resistance training: Responses and reproducibility of perceptual, metabolic, and neuromuscular outcomes. *Journal of Sports Sciences*, 38(5), 477–485. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1706831>

-Watanabe, K., Ooishi, Y., & Kashino, M. (2017). Heart rate responses induced by acoustic tempo and its interaction with basal heart rate. *Scientific reports*, 7, 43856. <https://doi.org/10.1038/srep43856>

-Yanguas Leyes, J. (2006) Influencia de la música en el rendimiento deportivo. *Apunts. Medicina de l'Esport. Volume 41, Issue 152.* 155-165. [https://doi.org/10.1016/S1886-6581\(06\)70028-7](https://doi.org/10.1016/S1886-6581(06)70028-7).

-Zatsiorsky, V. M., Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (2020). *Science and Practice of Strength Training*. Human Kinetics.

-Zhou, Q., Liu, Y., Kong, J., Wang, X., Zhang, K., & Shan, G. (2024). Rhythmic Mastery: Biomechanical Investigation of Cycle-tempo Induced Motor Control Changes in Elite Jump Rope Athletes. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202406.0029.v1>

-Zourdos, M. C., Klemp, A., Dolan, C., Quiles, J. M., Schau, K. A., Jo, E., Helms, E., Esgro, B., Duncan, S., Garcia Merino, S., & Blanco, R. (2016). Novel Resistance Training-Specific Rating of Perceived Exertion Scale Measuring Repetitions in Reserve. *Journal of strength and conditioning research*, 30(1), 267–275. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001049>

7. Anexo

**MEAN PROPULSIVE VELOCITY (m/s)
FOR EACH % OF 1RM**

VBT

VITRUVUE
VIT FOR YOU

		1RM	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%
Bench Pull		Sánchez Medina et al (2014) Prone lying rowing on bench with Smith machine												
		0.53	0.59	0.65	0.72	0.78	0.85	0.92	0.99	1.06	1.13	1.21	1.28	1.36
Back Squat		Sánchez Medina et al (2014) Deep squat with Smith Machine and pauses												
		0.32	0.42	0.51	0.59	0.68	0.76	0.84	0.92	1.00	1.07	1.14	1.21	1.28
Pull Up		Sánchez Moreno et al. (2017) Prone Pull up												
		0.22	0.31	0.39	0.50	0.57	0.65	0.74	0.83	0.91	1.00	1.09	-	-
Military Press		Muñoz et al. (2014) Militar Press behind the neck with Smith Machine												
		0.20	0.27	0.34	0.41	0.49	0.55	0.62	0.69	0.75	0.81	0.86	0.92	0.97
Bench Press		González Badillo and Sánchez Medina (2010): Bench press with Smith machine and pauses												
		0.18	0.25	0.32	0.39	0.47	0.55	0.62	0.70	0.78	0.87	0.95	1.07	1.13
Deadlift		Helms et al. 2017: Dead-lift with expert powerlifters 1RM=237,3kg												
		0.14	0.21	0.29	0.37	0.46	-	-	-	-	-	-	-	-
Hip Thrust		Hoyo, M, Núñez et al (2017) Predicting Loading Intensity Measuring Velocity in Barbell Hip Thrust Exercise												
		0.24	-	0.36	-	0.48	-	0.6	-	0.72	-	-	-	-

Figura 12. Extraída de Vitruve. Raconto de estudios relacionando %RM y velocidad en distintos ejercicios.

Escala		Repeticiones realizadas											
RPE	RIR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	0	100%	95.5%	92.2%	89.2%	86.3%	83.7%	81.1%	78.6%	76.2%	73.9%	70.7%	68.0%
9.5	1	97.8%	93.9%	90.7%	87.8%	85.0%	82.4%	79.9%	77.4%	75.1%	72.3%	69.4%	66.7%
9	2	95.5%	92.2%	89.2%	86.3%	83.7%	81.1%	78.6%	76.2%	73.9%	70.7%	68.0%	65.3%
8.5	3	93.9%	90.7%	87.8%	85.0%	82.4%	79.9%	77.4%	75.1%	72.3%	69.4%	66.7%	64.0%
8	4	92.2%	89.2%	86.3%	83.7%	81.1%	78.6%	76.2%	73.9%	70.7%	68.0%	65.3%	62.6%
7.5	5	90.7%	87.8%	85.0%	82.4%	79.9%	77.4%	75.1%	72.3%	69.4%	66.7%	64.0%	61.3%
7	6	89.2%	86.3%	83.7%	81.1%	78.6%	76.2%	73.9%	70.7%	68.0%	65.3%	62.6%	59.9%
6.5	7	87.8%	85.0%	82.4%	79.9%	77.4%	75.1%	72.3%	69.4%	66.7%	64.0%	61.3%	58.6%
6	8	86.3%	83.7%	81.1%	78.6%	76.2%	73.9%	70.7%	68.0%	65.3%	62.6%	59.9%	57.3%
<6*	>8*	Intensidad real (% 1RM)											

* Resultado poco preciso, mejor probar con un índice de esfuerzo mayor.

Figura 13. Relación entre Repeticiones, RPE, RIR, %RM. Extraído de Helms (2016)

Zona curva F-v	Velocidad ejecución	%1RM	Reps a realizar	RIR	RPE
Fuerza máxima absoluta	<0.35 m/s	90 – 100%	1 – 2	0 – 1	9 – 10
Fuerza circa-máxima	0.35 – 0.5 m/s	80 – 90%	2 – 4	0 – 3	7– 10
Fuerza acelerativa (hipertrofia)	0.5 – 0.75 m/s	65 – 80%	5 – 15	0 – 5	6 – 10
Fuerza rápida	0.75 – 1.0 m/s	45 – 65%	3 – 8	2 – 7	4 – 8
Fuerza velocidad	1.0 – 1.3 m/s	25 – 45%	3 – 8	–	3 – 7
Fuerza inicial (velocidad)	>1.3 m/s	>25%	3 – 8	–	3– 5

Figura 14. Relación velocidad, %RM, RIR y RPE en ejercicios de fuerza. No aplica para sprints. Extraída de Weakley (2020).

ZONA O RITMO	ABREV.	INTENSIDAD			
		%VO _{2max} %FC _{reserva}	%FC _{max}	%VAM	[Lact] mmol·L ⁻¹
Recuperación activa o Regenerativo	R0	<65	<65	<65	-
Umbral aeróbico	R1	65-75%	70-80%	65-75%	1-2
Umbral anaeróbico	R2	75-85%	80-90%	75-85%	2-4
Consumo Máximo de Oxígeno	R3	90-95%	95-98%	90-95%	4-6
	R3+	100%	100%	100%	6-8
Capacidad anaeróbica	R4	-	-	105-120%	8-14
Potencia anaeróbica	R5	-	-	120-140%	Máx.
Potencia anaeróbica aláctica	R6	-	-	> 160% Vel. Máx.	-

Figura 15. Relación entre zona de intensidad, %Vo2, %FC, %VAM (velocidad mínima de consumo máximo de oxígeno), y lact-1 (concentración de lactato). Extraído de Morán-Navarro (2012).