Sport Performance

# Factores Fisiológicos Determinantes en Crossfit: Una Revisión Sistemática

## Determining Physiological Factors in Crossfit: A Systematic Review

Celemín Castro, Hugo Antonio.

[1]*Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA).*

**Dirección de contacto:** hcelemin@udca.edu.co
Hugo Antonio Celemín Castro
Fecha de recepción: 3 de diciembre de 2021
Fecha de aceptación: 31 de marzo de 2022

## RESUMEN

INTRODUCCIÓN: El estudio de los factores que influyen en el rendimiento deportivo (intrínsecos y extrínsecos) es una temática habitualmente investigada por las ciencias del entrenamiento en las diferentes disciplinas deportivas, sin embargo, en el Crossfit, que es una disciplina relativamente nueva, es un tema con poca evidencia científica, aunque no nula. OBJETIVO: La presente revisión tiene como objetivo describir cuales son los principales indicadores fisiológicos y externos que se han estudiado en las investigaciones referentes al rendimiento en Crossfit. MATERIALES Y MÉTODO: Se realizó una búsqueda de la temática propuesta en las bases de datos Scopus, SportDiscus y ScienceDirect, siguiendo las directrices PRISMA. Para garantizar la calidad de la información incluida en la revisión se aplicó de la escala de valoración modificada que agrupa 13 ítems de evaluación en las categorías. Finalmente, para el análisis y organización de la información se sometieron los artículos incluidos a la herramienta QDA miner lite (software de análisis de datos cualitativos de métodos mixtos). RESULTADOS: Basados en las evidencias de los estudios incluidos se determinó que los factores fisiológicos estudiados en el rendimiento en Crossfit se pueden clasificar en Biomarcadores del sistema inmunológico, del estrés oxidativo y antioxidante, del metabolismo de la glucosa, del daño muscular o inflamatorios, hormonales, del metabolismo óseo y cardiorrespiratorios. Por otra parte, hay otros factores que también reportan influencia en el desempeño en esta disciplina deportiva y se pueden denominar factores complementarios dentro de los que se encuentran los nutricionales, antropométricos y el esfuerzo percibido por los atletas. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES: La categorización y análisis propuesto en la revisión ayuda a identificar las tendencias de investigación del rendimiento en Crossfit, comprender cuales son los factores fisiológicos y externos que se han estudiado hasta la fecha y que posiblemente influyen en el rendimiento de los atletas de esta disciplina deportiva. Se invita a investigadores interesados en esta disciplina deportiva a incluir población femenina, infantil y de edad avanzada en sus estudios, puesto que no se encuentra mucha información referente, también estudio de estos factores en competencia y los factores exógenos como pueden ser las motivaciones, ambientales, la distribución de las pruebas y demás que por naturaleza se presentará únicamente en espacios de carácter competitivo.

**Palabras Clave:** crossfit, fisiología, rendimiento deportivo, indicadores rendimiento

## ABSTRACT

INTRODUCTION: The study of the factors that influence sports performance (intrinsic and extrinsic) is a subject usually investigated by training sciences in different sports disciplines, however, in Crossfit, which is a relatively new discipline, it is a subject with little scientific evidence, although not null. OBJECTIVE: The objective of this review is to describe the main physiological and external indicators that have been studied in research regarding Crossfit performance. MATERIALS AND METHOD: A search of the proposed theme was carried out in the Scopus, SportDiscus and ScienceDirect databases, following the PRISMA guidelines. To guarantee the quality of the information included in the review, the modified assessment scale was applied, which groups 13 evaluation items in the categories. Finally, for the analysis and organization of the information, the included articles were submitted to the QDA miner lite (mixed methods qualitative data analysis software). RESULTS: Based on the evidence of the included studies, it was determined that the physiological factors studied in Crossfit performance can be classified into Biomarkers of the immune system, oxidative and antioxidant stress, glucose metabolism, muscle damage or inflammatory, hormonal, bone metabolism and cardiorespiratory. On the other hand, there are other factors that also report influence on performance in this sports discipline and can be called complementary factors, among which are nutritional, anthropometric, and perceived exertion by athletes. DISCUSSION AND CONCLUSIONS: The categorization and analysis proposed in the review helps to identify performance research trends in Crossfit, understand what are the physiological and external factors that have been studied to date and that possibly influence the performance of Crossfit athletes. this sport discipline. Researchers interested in this sports discipline are invited to include female, child and elderly population in their studies, since not much information is found, also study of these competing factors and exogenous factors such as motivations, environmental, the distribution of the tests and others that by nature will be presented only in spaces of a competitive nature.

**Keywords:** crossfit, physiology, sports performance, performance indicators

## INTRODUCCIÓN

El objetivo final de todo proceso de entrenamiento es mejorar el rendimiento del deportista, bien sea en un nivel de iniciación, potenciación y/o alto rendimiento, el entrenador busca desarrollar al máximo y en la medida que el deportista asimile los estímulos de las cargas. Existen diferentes factores que afectan el rendimiento en el deporte, bien sean intrínsecos como las adaptaciones morfológicas, fisiológicas, psicológicas y físicas, o también factores extrínsecos como la nutrición, tecnología, entorno social, reglamento y escenario (Mangine et al., 2020). A nivel competitivo la influencia de estos factores puede dar ventaja significativa al deportista para conseguir los resultados esperados, es por esto que el estudio, análisis, predicción y desarrollo adecuado de dichos factores juegan un papel importante en la planificación deportiva.

Es evidente y de fácil reconocimiento la amplia oferta de propuestas de ejercicios, métodos, planificación, controles, competencias, entre otros muchos más que han surgido con la evolución del entrenamiento deportivo y el fitness durante los últimos 20 años. Si tenemos que hablar de una tendencia de entrenamiento que se ha logrado posicionar con mucha fuerza en gran parte del territorio mundial, sin duda alguna tenemos que traer a colación a Crossfit, una empresa que en la última convocatoria para su competencia mundial (Open Crossfit Games 2020) alcanzó a reclutar alrededor de 140.000 participantes, aspirantes a clasificar a la final. Dentro de la justificación y bases teóricas (Glassman, 2016) describe al Crossfit como un programa que prepara a quien lo sigue para cualquier eventualidad de la vida cotidiana y/o deportiva que requiera un desempeño físico, excluyendo la súper especialización de una disciplina, sino el control y adaptación a la mayor cantidad de actividades deportivas posible, para cumplir con la premisa “la capacidad extraída de la intersección de todos los deportes lógicamente se aplica bien a todos los deportes” (Glassman, 2016). También se puede evidenciar un crecimiento exponencial en la cantidad de publicaciones científicas referentes a esta disciplina deportiva en las últimas décadas, entre los años 2000 y 2010 se encuentran tan solo 5 artículos publicados en las bases de datos consultadas, mientras que, tan solo en el 2021 con la palabra clave Crossfit se encuentran 93 artículos en Scopus y 56 en Science Direct.

Basados en la revisión de artículos relacionados al estudio de factores que afectan el rendimiento, se identifica que algunos

autores relacionan directamente la composición corporal con el buen desempeño en competencia en deportes individuales y relativamente nuevos como es el caso del Crossfit (Gómez-Landero y Frías-Menacho, 2020). Los factores fisiológicos se presentan como la variable de más incidencia en el rendimiento deportivo (Mangine et al., 2020). Las anteriormente nombradas se presentan como una de las categorías que más estudios reportan, pero no se pueden descartar otras categorías como factores neuronales (Barron et al., 2020), factores motivacionales como (Dominski et al., 2020; Feito et al., 2019; Feito et al., 2018; Serafini et al., 2018), enuncian en diferentes publicaciones, factores asociados a la nutrición y suplementación (Kramer et al., 2016), (Moro et al., 2020).

Debido al poco tiempo de trayectoria del Crossfit como competencia formal el material científico precedente no es muy amplio, pero tampoco es inexistente, aunque se puede encontrar información en los trabajos realizados por autores como (Bellar et al., 2015; Outlaw et al., 2014; Tibana et al., 2018), que han descrito y evaluado las capacidades físicas de competidores, algunas variables de la capacidad aeróbica y anaeróbica respecto al rendimiento en los WOD (Workout Of the Day o entrenamiento del día) y características físicas básicas (Gómez-Landero y Frías-Menacho, 2020).

En gran parte la literatura que reporta los cambios y adaptaciones de los sistemas y biomarcadores fisiológicos generados por la práctica del Crossfit, se han presentado de forma aislada. Para fines de esta revisión entenderemos los Factores Fisiológicos como aquellos parámetros intrínsecos del deportista resultados de las adaptaciones a los procesos de entrenamiento que han sido analizados por medio de pruebas y/o controles específicos y que pueden variar según el sexo, la edad, condiciones antropométricas, experiencia en el deporte, entre otros. Con el fin de diseñar una herramienta que todo profesional en el campo del entrenamiento deportivo y con relación o interés en el Crossfit pueda tener conocimiento científico, del impacto y repercusiones de la práctica deportiva de esta disciplina. Por dicha razón, como objetivo de la presente revisión se propone describir cuales son los principales indicadores fisiológicos y externos que se han estudiado en las investigaciones referentes al rendimiento en Crossfit.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Estrategia de búsqueda

En la presente revisión y con el fin de recolectar estudios asociados con la temática central que brinden información de excelente calidad como respaldo se siguieron las directrices PRISMA (Conjunto mínimo de ítems basado en la evidencia para informar en revisiones sistemáticas y meta-análisis). Las bases de datos consultadas para la búsqueda de artículos científicos fueron Scopus, SportDiscus y ScienceDirect, durante el primer semestre del 2021. Los términos usados en la cadena de búsqueda fueron; ‘Crossfit’ AND ‘Physiology’; ‘Crossfit’ AND ‘Biomarkers’; ‘Crossfit’ AND ‘Performance Indicators’.

Para seleccionar los artículos a incluir y posteriormente analizarlos con la herramienta QDA miner lite (software de análisis de datos cualitativos de métodos mixtos). Los criterios tenidos en cuenta para la selección de artículos son; (1) Estudios que contienen información relevante y directa con el tema de revisión; (2) Se describe con claridad las características de la población intervenida en el estudio; (3) Solo estudios que hablen de Crossfit; (4) Artículos encontrados en las bases de datos disponibles en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales; y (5) Artículos completos y libres de pago. También se aplicaron los siguientes criterios de exclusión; (1) Estudios publicados antes del año 2010; (2) El estudio tiene como resultado 50% o menos en la evaluación de calidad; (3) Estudios que no incluyen información relevante para esta revisión o que no describieran una metodología clara; (4) Estudios que no presentan los resultados de forma clara ni conclusiones del mismo; y (5) Resúmenes de congresos y/o conferencias.

El autor examinó los resúmenes de los artículos que aparentemente cumplían con las características de interés para ser incluidos en la presente revisión. Los artículos que finalmente se decidieron incluir fueron descargados en su versión completa para someterse a un análisis más profundo y verificando si pasaban por el filtro de los criterios de exclusión postulados.

### Escala de calidad

La calidad de los artículos seleccionados se evaluó con una escala de valoración propuesta por (Burgos et al., 2011) modificada y ajustada al contexto de la presente revisión. En dicha escala se presentan 13 ítems, agrupados en 3 categorías [1]Población: El estudio describe detalladamente y con claridad las características del grupo objeto de estudio, (1) Describe claramente la muestra, (2) Nombra el sexo de los sujetos, (3) Nombra la edad de los sujetos, (4) Describe el nivel o categoría de entrenamiento de los sujetos. [2] Metodología: (5) Se plantean objetivos claros y concretos, (6) El estudio cuenta con un grupo experimental y un grupo de control para establecer comparaciones, (7) Se describen con

claridad con criterios de inclusión y/o exclusión, (8) Se menciona y describe el diseño metodológico empleado en el estudio, (9) Se describe la prueba empleada con detalle suficiente para permitir su replicación. [3] Resultados: (10) Responden con claridad el problema planteado en la construcción del estudio, (11) Tienen coherencia y se relacionan directamente con los objetivos planteados, (12) El autor presenta un análisis propio, con base a los resultados obtenidos de su intervención, (13) Se presentan las relaciones o conexiones entre lo que se ha observado frente al conocimiento actual.

Todos los artículos incluidos fueron evaluados con los 13 criterios, que puntuaron en escala binaria (Si=1, No=0). El resultado final de la escalada de valoración de calidad se obtiene de la suma de la puntuación y posterior división entre el total de los ítems (13) y se presenta en valor porcentual en una escala de 0 a 100%. Con base a esta calificación se clasificaron los artículos en [1] Baja calidad metodológica (<50%); [2] Buena calidad metodológica (51-75%); y [3] Excelente calidad metodológica (>75%). Para garantizar que esta revisión presente un contenido temático con respaldo científico idóneo se tienen en cuenta solo los artículos que se califiquen con Buena o Excelente calidad metodológica.

### Aspectos éticos

El presente estudio no hace ninguna intervención a seres humano ni animales. En la revisión de artículos para el respaldo de la información presentada se citan y referencian los autores.

## RESULTADOS

### Resultados de la búsqueda

La búsqueda inicial identificó 278 títulos de estudios en las bases de datos Scopus, SportDiscus y ScienceDirect, adicionalmente se encontraron 7 estudios en otros motores de búsqueda, estos datos se exportaron al software del administrador de referencias (Mendeley). Los duplicados (121 referencias) se eliminaron de forma automática o manual. Los 164 artículos restantes, se revisaron de forma independiente para determinar su relevancia sobre la base de su título y resumen, lo que resultó en 102 estudios eliminados de la base de datos. Los 62 artículos restantes fueron leídos a texto completo y se examinaron con más detalle; como resultado de ese análisis 48 estudios fueron descartados por no cumplir con los criterios de inclusión. Al final del procedimiento de selección, se seleccionaron 14 artículos para su lectura y análisis en profundidad (Figura 1). La cantidad de estudios descartados y las principales razones de exclusión final son; [1] Estudios que describían otras disciplinas deportivas diferentes al Crossfit (n =12); [2] Puntuación en la escala de evaluación de calidad <50% (n = 8); [3] Revisiones sistemáticas (n = 9); [4]Información irrelevante (n = 3); [5] Presentan resultados inconclusos (n = 5); [6] Publicaciones resumen de congresos (n=5): y [7] Artículos publicados antes del año 2010 (n = 6). Entre los estudios incluidos, se tuvieron en cuenta artículos producidos en los 5 últimos años (es decir, del 2015 al 2021)., que cumplían con las exigencias de contenido, especificidad e interés del autor, esto debido a la falta de literatura científica en general en el campo del Crossfit, puesto que es una disciplina deportiva relativamente nueva.

Cabe resaltar que los estudios de características de revisión sistemática, no se descartaron completamente, aunque no se reportan dentro de los resultados, debido a su contenido y aporte al tema revisado se utilizaron como respaldo teórico de la presente revisión.

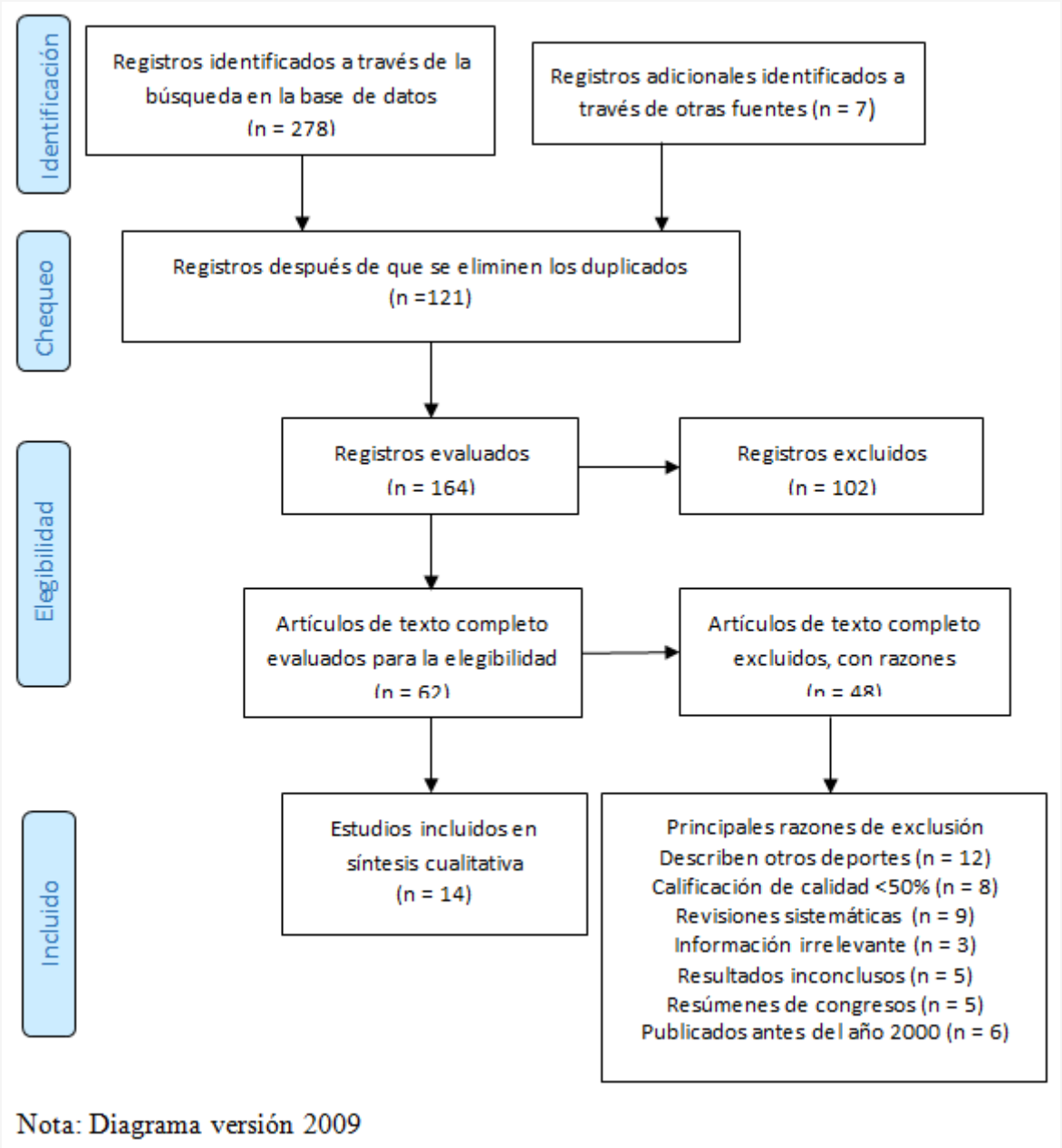


***Figura 1.*** *Diagrama de flujo prisma flow*

**Resultados análisis de calidad**

Después de aplicar los filtros previos, para garantizar la adecuada selección de los estudios que brinden información relevante y coherente con objetivo de esta revisión, se ha sometido los artículos a la escala de valoración de calidad. Los artículos incluidos presentaron puntuación entre el 69% y 100%. Se presentan los artículos seleccionados, información puntual y el resultado de la valoración (tabla 1). Las variables que frecuentemente faltan en los estudios, y por lo cual baja su calificación son, la falta de un grupo control para establecer comparaciones con el grupo experimental y la clara descripción de los criterios de inclusión y exclusión aplicados en la muestra en el desarrollo de la investigación.

***Tabla 1.*** *Estudios seleccionados*

| *Ref.* | *NOMBRE DEL ARTICULO* | *AUTOR/ES. FECHA PUBICACIÓN* | *OBJETIVO* | *POBLACIÓN/ MUESTRA* | *METODOLOGÍA* | *VALORACIÓN* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *A1* | Análisis del DSC del suero sanguíneo de hombres bien entrenados en Crossfit y suplementados con extracto de té verde | (Michnik et al., 2017) | Detectar los cambios en el suero sanguíneo después entrenamiento Crossfit (CF) combinado con la suplementación con extracto de té verde (GTE). | 20 estudiantes varones no fumadores, voluntarios involucrados en el entrenamiento Crossfit | Calorimetría diferencial de barrido (DSC). Administración de 2 capsulas blandas al día durante 6 semanas de suplementos de extracto de té verde (GTE) y placebo después de entrenar. | 92% |
| *A2* | Biomarcadores metabólicos después de una serie corta y larga de entrenamiento funcional de alta intensidad en hombres entrenados de forma recreativa | (Kliszczewicz et al., 2017) | Determinar el efecto de una serie corta (<5 min) y larga (15 min) de HIFT sobre los biomarcadores metabólicos plasmáticos. | 15 hombres en buena forma física (28,11 ± 5,09 años). | 2 sesiones HIFT (CORTA y LARGA) de forma cruzada. Se recogió plasma sanguíneo en cuatro puntos de tiempo: PRE, POST, 1HR y 3HR para examinar glucosa (GLU), insulina (INS), respuestas de epinefrina (E) y norepinefrina (NE). | 92% |
| *A3* | Dos días consecutivos de entrenamiento del programa de acondicionamiento extremo que afectan las citosinas pro y antiinflamatorias y la osteoprotegerina sin afectar la potencia muscular | (Tibana et al., 2016) | Investigar los efectos de dos sesiones consecutivas de entrenamiento del programa de acondicionamiento extremo diseñadas para mejorar la capacidad de trabajo que involucran ejercicios cardiovasculares y musculares sobre citocinas, potencia muscular, lactato sanguíneo y glucosa. | 9 miembros masculinos de la comunidad de condicionamiento extremo (26,7 años± 6,6 años; masa corporal 78,8± 13,2 kg; grasa corporal 13.5± 6,2%; experiencia formativa 2.5± 1,2 años) | Protocolos experimentales (con 24 h de diferencia): (1) ejercicios de fuerza y potencia, (2) movimientos gimnásticos y (3) acondicionamiento. Se midieron la interleucina-6 (IL-6), la IL-10 y la osteoprotegerina séricas antes, inmediatamente después y 24 h después del WOD 1, inmediatamente después, 24 y 48 h después de WOD 2. | 85% |
| *A4* | ¿Es el esfuerzo percibido un indicador útil de las respuestas metabólicas y cardiovasculares a una sesión de acondicionamiento metabólico de ¿Aptitud funcional? | (Tibana et al., 2019) | Evaluar si la autorregulación del entrenamiento intensidad basado en la calificación del esfuerzo percibido (RPE) es un método confiable para controlar la intensidad durante las sesiones de acondicionamiento metabólico de aptitud funcional. Analizar la relación entre el RPE y los cambios en la frecuencia cardíaca, el número de repeticiones y las respuestas de lactato. | 8 miembros masculinos de la comunidad de fitness funcional (edad 28,1 ± 5,4 años; masa corporal 77,2 ± 4,4 kg; $VO_2$máx: 52,6 ± 4,6 ml·kg·min)-1; 3.8 ± 1,4 años de experiencia) fueron contratados a través de anuncios. Todos los sujetos estaban libres de lesiones y enfermedades conocidas, no consumían drogas para mejorar el rendimiento. | 2 sesiones (de cinco a siete días de diferencia), en un orden aleatorio, de la siguiente manera: (1) total (TODOS), o (2) autorregulación de la intensidad basada en un RPE de seis (duro) en la escala Borg CR-10 (RPE6). La calificación del esfuerzo percibido, el lactato (LAC) y la respuesta de la frecuencia cardíaca (FC) se midieron antes, durante e inmediatamente después de las sesiones. | 85% |
| *A5* | El efecto de la ingestión crónica de bicarbonato de sodio en dosis progresivas sobre el rendimiento similar al Crossfit: un ensayo cruzado aleatorizado, doble ciego | (Durkalec-Michalski et al., 2018) | Examinar los efectos de la ingestión crónica de dosis progresivas de Bicarbonato de sodio (SB) sobre el rendimiento y la capacidad aeróbica tipo Crossfit. | 21 (9 mujeres, 12 hombres) edad 32 ± 5 años, altura corporal 174 ± 8 cm, valores basales de masa corporal 73,0 ± 14,0 kgSB y 73,2 ± 13,8 kgPLA, masa libre de grasa 58,4 ± 13,4 kgSB y 59,3 ± 13,7 kgPLA, Grasa corporal 13,6 ± 4,9 kgSB y 13,9 ± 4,9 kgPLA). Los participantes estaban entrenando Crossfit de forma recreativa y regular. | El protocolo del estudio consistió en dos ensayos experimentales de 10 días separados por un período de 14 días en una forma cruzada aleatoria, doble ciego, controlada con placebo. Los participantes ingirieron hasta 150 mg kg-1 de SB en un régimen de dosis progresiva o placebo durante 10 días. Antes y después de cada prueba, se realizaron pruebas de Fight Gone Bad (FGB) y de ciclismo incremental (ICT). Para examinar las respuestas bioquímicas, se obtuvieron muestras de sangre antes y 3 minutos después de completar cada prueba de ejercicio. | 100% |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ***A6*** | Ejercicio agudo y estrés oxidativo: Crossfit ™ vs carrera en cinta | (Kliszczewicz et al., 2017) | Examinar la respuesta redox aguda a un entrenamiento de Crossfit ™ | 10 hombres de 26,4 ± 2,7 años con tres o más meses de experiencia Crossfit ™ | Se recogió plasma sanguíneo en cuatro puntos de tiempo: antes del ejercicio (PRE), inmediatamente después del ejercicio (IPE), 1 hora después (1-HP) y 2 horas después (2-HP), para examinar el daño oxidativo y capacidad antioxidante. | 92% |
| ***A7*** | Predictores físicos y fisiológicos de FRAN Crossfit WOD Rendimiento del atleta | (Leitão et al., 2021) | Analizar las variables físicas y fisiológicas de los atletas de Crossfit entrenados recreativamente durante uno de los WOD más famosos, FRAN, e identificar qué variables determinan mejor el rendimiento. | 15 atletas amateurs masculinos de Crossfit (con un mínimo de tres años de experiencia / cuatro sesiones por semana, 24.03 ± 4,2 años, 78,2 ± 10,59 kg, 1,75 ± 0,07 m, 25,82 ± 2,7 kg / mdos, 19.39 ± 4.8 porcentaje de grasa corporal) libre de lesiones. | Se realizó en días separados, 1RM y un máximo de repeticiones de pull-ups, 1RM y un máximo de repeticiones de thrusters con 95 lb / 43,2 kg, FRAN Crossfit WOD y 2K del test de remo. | 85% |
| ***A8*** | Predicción de lo desconocido y lo incognoscible. ¿Están las medidas antropométricas y el perfil de aptitud física asociados con el resultado de un Crossfit simulado® ¿Competencia? | (Peña et al., 2021) | Encontrar asociaciones entre el resultado de una competencia simulada de Crossfit, medidas antropométricas y pruebas de aptitud física estandarizadas. | Una muestra intencionada de 10 Crossfit masculinos experimentados® atletas (edad 28,8 ± 3,5 años; altura 175 ± 10,0 cm; peso 80.3± 12,5 kg; alcance con una mano 223± 15 cm) sin lesiones relevantes en el momento del estudio. Antecedentes competitivos en Crossfit (≥ 2 años). | Competencia simulada con tres entrenamientos de referencia ("Fran", "Isabel" y "Kelly") y se sometieron a pruebas de aptitud física. Los participantes fueron evaluados para medidas antropométricas, sentarse y alcanzar, salto en cuclillas (SJ), salto con contramovimiento (CMJ) e índice de fuerza reactiva (RSI), y la carga (CARGA) correspondiente al valor de potencia media más alto (POTENCIA) en el arranque. press de banca y ejercicios de sentadilla trasera se determinaron mediante pruebas incrementales. | 92% |
| ***A9*** | Lactato, frecuencia cardíaca y clasificación de las respuestas de esfuerzo percibidas a un Crossfit de duración más corta y más larga® | (Tibana et al., 2018) | Analizar la concentración de lactato en sangre (LAC), la frecuencia cardíaca (FC) y la calificación del esfuerzo percibido (RPE) durante y después de sesiones de menor y mayor duración en Crossfit. | 9 hombres aparentemente sanos (27,7 ± 3,2 años; 11,3± 4,6% porcentaje de grasa). Sin lesiones musculares, articulares o óseas, presencia de alguna enfermedad que pudiera comprometer la salud durante el estudio; experiencia mínima de 6 meses entrenando crossfit. | Los sujetos visitaron el laboratorio en dos ocasiones con un intervalo de 7 a 9 días. Completaron un WOD más corto (Fran) y uno más largo (Fight Gone Bad). Durante las pruebas se midió la FC antes, durante y después de los protocolos se evaluó el RPE y LAC. La respuesta de LAC y HR se midió antes, durante, inmediatamente después y 10, 20 y 30 minutos después de las sesiones. El RPE se midió antes e inmediatamente después de las sesiones. | 92% |
| ***A10*** | Diferencias de género en las respuestas inmunológicas y hormonales crónicas al Crossfit | (Poderoso et al., 2019) | Analizar las respuestas crónicas de los sistemas hormonal e inmunológico después de 6 meses de formación en crossfit, así como para comparar estos resultados entre géneros. | 29 practicantes de crossfit (35,3 ± 10,4 años, 175,0 ± 9,2 cm, 79,5 ± 16,4 kg) 17 hombres y 12 mujeres. | Se reclutó experiencia de seis meses y se verificaron las respuestas hormonales e inmunológicas cada dos meses durante el entrenamiento. El entrenamiento se llevó a cabo en cinco días consecutivos durante la semana, seguidos de dos días de descanso. | 92% |
| ***A11*** | Respuestas fisiológicas agudas durante entrenamientos crossfit | (Fernández-Fernández et al., 2015) | Describir la respuesta fisiológica y perceptiva aguda de dos WOD típicos de crossfit e investigar si las demandas físicas de estos WOD cumplen con los criterios establecidos por el ACSM para mejorar y mantener la aptitud cardiovascular en adultos sanos. | 10 sujetos sanos (Edad: 30 ± 4,2 años; peso: 77 ± 9 kg; altura: 1,76 ± 0,08 m; índice de masa corporal (IMC): 24,8 ± 2,3). Todos los sujetos fueron reclutados y entrenados en un Box de Crossfit afiliado y tenía 12 ± 2 meses de experiencia entrenando en Crossfit. | El estudio que incluyó una prueba de laboratorio incremental en cinta rodante y dos WOD (por ejemplo, "Fran" y "Cindy"). Las mediciones incluyeron el consumo de oxígeno (VO2) de los sujetos, la frecuencia cardíaca (FC), oxígeno captación (VO2), el lactato sanguíneo (LA) y las calificaciones del esfuerzo percibido (RPE). | 77% |
| ***A12*** | Recuperación de 48 horas de parámetros bioquímicos y rendimiento físico después de dos modalidades de entrenamientos Crossfit | (Timón et al., 2019) | Analizar los parámetros bioquímicos y el rendimiento físico después de dos WOD, y evaluar la recuperación a las 48 horas | 12 hombres entrenados reclutados en un centro de entrenamiento Crossfit. Edad: 30,4 ± 5,37 años; VO2máx: 47,8 ± 3,63 ml / min / kg; 1RM Power Clean: 93,2 ± 7,62 kg) | Se aplicó un diseño cruzado y los participantes completaron dos modalidades de WOD en días separados: WOD1 (tantas rondas como sea posible) y WOD2 (rondas por tiempo). Se midieron el lactato en sangre, las calificaciones de esfuerzo percibido y la frecuencia cardíaca para determinar la | 92% |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | intensidad de las sesiones de entrenamiento. Los parámetros bioquímicos y el rendimiento físico se evaluaron antes, inmediatamente después, 24 horas después y 48 horas después del ejercicio. | |
| ***A13*** | Respuestas catabólicas agudas y crónicas al Crossfit y entrenamiento de resistencia en varones jóvenes | (Faelli et al., 2020) | Comparar los efectos inducidos por Crossfit y entrenamiento de resistencia en sujetos moderadamente entrenados | 20 varones adultos jóvenes, clasificados como moderadamente entrenados, con 1 año de experiencia en Crossfit y Entrenamiento de Resistencia (24,6 ± 3,4 años) | Antes y después del período de intervención, los participantes se sometieron a (a) prueba 1RM, con el fin de evaluar su carga máxima individual levantada, y (b) la evaluación de la composición corporal. El período de intervención duró 8 semanas. A lo largo del programa de formación de 8 semanas, los participantes realizaron 24 sesiones, 3 veces por semana, y todas las sesiones de formación se llevaron a cabo a la misma hora del día (5 pm). Antes (PRE) y 30 min después (POST) del final tanto de la primera sesión de entrenamiento (SESIÓN 1) como de la última sesión de entrenamiento (SESIÓN 24), se determinaron los niveles salivales de cortisol, IL-1 beta y ácido úrico. | 92% |
| ***A14*** | Respuestas fisiológicas agudas y rendimiento después de Entrenamiento Crossfit 'CINDY' | (Ahmad et al., 2019) | Investigar las respuestas fisiológicas y el rendimiento después del ejercicio subsecuente repetido de alta intensidad con el consumo de Zeamay jugo (ZM). | 17 participantes físicamente activos y tenían entrenamiento cardiovascular y de fuerza al menos 3 veces por semana. La edad de los participantes fue 21,8 ± 1,7 años, peso corporal 65,4 ± 11,2 kg y altura 169,7 ± 7,2 cm. | El WOD 'CINDY' se repitió entre dos horas de descanso. Bebida de tratamiento de (ZM), las bebidas de jugo frente a carbohidratos y electrolitos (CE) se consumieron inmediatamente después del ejercicio en forma cruzada doble ciego. El número de serie completa de ejercicio, la frecuencia cardíaca, el lactato sanguíneo y la tasa de agotamiento percibido (RPE) se registraron al final de cada sesión de ejercicio. | 92% |

*Nota: Esta tabla muestra la información de cada artículo (Codificación Referencia, Autor/Es, Fecha Publicación, Objetivo, Pruebas Aplicadas y Resultado escala De Valoración)*

**Organización de los datos**

Con el fin de dar una adecuada organización a la información captada, entender las tendencias de investigación científica en Crossfit e identificar los principales factores fisiológicos que influyen en el rendimiento de los atletas, basados en las evidencias de los estudios incluidos y su posterior tratamiento en la herramienta de análisis QDA miner lite, se propone presentar los resultados de la búsqueda y revisión de variables de análisis agrupadas en 5 categorías, 1 específica del campo de estudio fisiológico, basado en la propuesta de (Urdampilleta et al., 2012) y las otras 4 complementarias que ayudan a comprender más los campos de investigación del rendimiento en Crossfit, para reconocer las tendencias de investigación en Crossfit, cada una con variables de especificidad, de la siguiente manera: Categoría Específica; [1] Factores fisiológicos; (1) Biomarcadores del sistema inmunológico, (2) Biomarcadores del estrés oxidativo y antioxidante, (3) Biomarcadores del metabolismo de la glucosa, (4) Biomarcadores Hormonales, (5) Biomarcadores del daño muscular o inflamatorios, (6) Biomarcadores del metabolismo óseo, y (7) Biomarcadores Cardiorrespiratorios. Categorías complementarias; [2] Otros factores relacionados con el rendimiento; (8) Nutricionales (9) Antropométricos; y (10) Percepción del esfuerzo. [3] Género de la población de estudio; (11) Masculino, (12) Femenino. [4] Nivel de experiencia de los participantes; (13) Amateur, (14) Competitivo. [5] Naturaleza de las pruebas aplicadas; (15) General – Capacidades físicas, (16) Específica – WOD Crossfit. (figura 2).

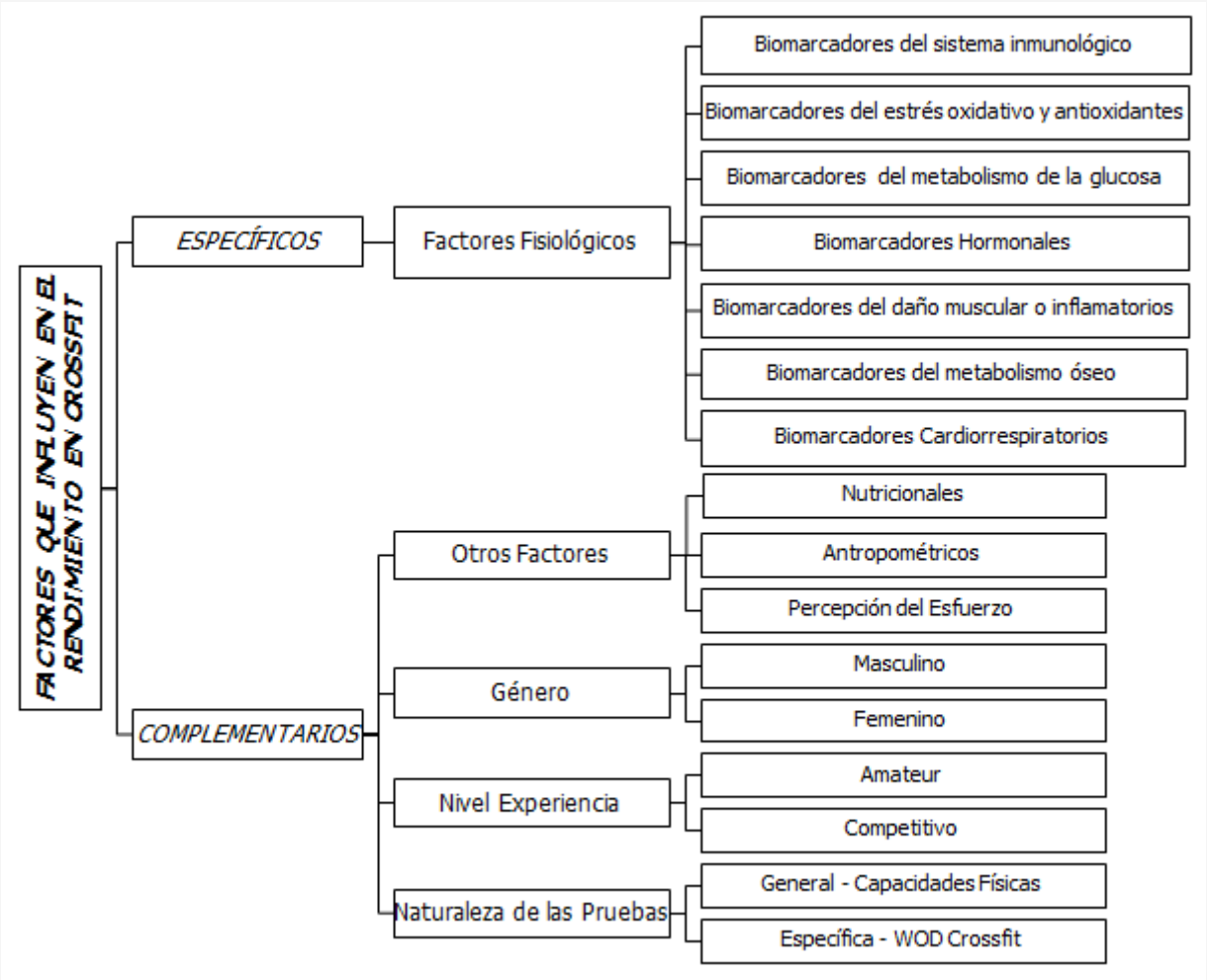


***Figura 2.*** *Categorías análisis – factores que influyen en el rendimiento en crossfit*

Con referencia al objetivo principal de la revisión y en vista que la mayoría de los estudios en el desarrollo metodológico relacionan dos o más de los factores que influyen en el rendimiento en Crossfit, se presenta la clasificación de los artículos en función de las categorías de análisis (tabla 2).

***Tabla 2.*** *Clasificación de artículos en función de las categorías de análisis. (factores de rendimiento)*

| *CATEGORÍA* | | *VARIABLES* | | *REF.* |
|---|---|---|---|---|
| *ESPECÍFICOS* | **FACTORES FISIOLÓGICOS** | **Biomarcadores del sistema inmunológico** | Linfocitos | A10 |
| | | | Interleucina 1beta (IL-1B) | A13 |
| | | | Interleucina 6 (IL-6) | A3 |
| | | | Interleucina 10 (IL-10) | A3 |
| | | **Biomarcadores del estrés oxidante y antioxidantes** | Capacidad Antioxidante | A6 |
| | | | Biomarcadores de estrés oxidativo | A6 |
| | | **Biomarcadores del metabolismo de la glucosa** | Glucosa | A2, A3, A5, A12 |
| | | | Concentración de Lactato | A1, A3, A4, A5, A7, A9, A11, A12, A14 |
| | | | Lactato Deshidrogenasa (LDH) | A1, A5, A12 |
| | | **Biomarcadores Hormonales** | Hormonas (Testosterona – Cortisol) | A10, A13 |
| | | | Insulina | A2 |
| | | | Epinefrina | A2 |
| | | | Norepinefrina | A2 |
| | | **Biomarcadores del daño muscular o inflamatorio** | Creatinquinasa (CK) | A1, A5, A12 |
| | | **Biomarcadores del sistema óseo** | Osteoprotegerina | A3 |
| | | **Biomarcadores Cardiorrespiratorios** | Frecuencia Cardiaca | A4, A5, A7, A9, A11, A12, A14 |
| | | | $VO_2$ máximo | A5, A8, A11 |
| *COMPLEMENTARIOS* | **OTROS FACTORES** | Nutricional | | A1, A5, A14 |
| | | Antropometría | | A7, A8, A12 |
| | | Percepción del Esfuerzo | | A4, A7, A9, A10, A11, A14 |
| | **GÉNERO** | Masculino | | A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A12, A13, A14 |
| | | Femenino | | A5, A10 |
| | **NIVEL DE EXPERIENCIA** | Amateur | | A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A10, A12, A13, A14 |
| | | Competitivo | | A8 |
| | **NATURALEZA DE LAS PRUEBAS** | General – Capacidades Físicas | | A1, A5, A6, A7, A8, A10, A11, A13 |
| | | Específica – WOD Crossfit | | A2, A3, A4, A5, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14 |

## DISCUSIÓN

Esta revisión tiene como objetivo principal describir cuales son los principales indicadores fisiológicos y externos referentes al rendimiento en Crossfit, que han sido reportados en investigaciones científicas en los últimos años (2010 - 2021), adicional otros factores que se relacionan e interactúan con estos y algunas tendencias temáticas y metodológicas de la investigación referente a la disciplina deportiva de Crossfit. La consulta de artículos fue realizada en las bases de datos Scopus, SportDiscus y ScienceDirect.

Aunque el campo de estudio de la fisiología y los aspectos en relación al ejercicio es bastante amplio en temáticas, y con el

pasar de los años se han investigado y profundizado, se debe resaltar que en Crossfit específicamente es bastante reducida esta literatura, puede que sea por el relativamente poco tiempo de creación formal de la disciplina, la falta de profesionales del entrenamiento deportivo y afines en los procesos de formación y desarrollo del Crossfit, la masificación comercial y entrenadores no profesionales de dicha metodología o la falta de interés de los entrenadores por desarrollar, confrontar y evidenciar conocimiento científico.

Teniendo en cuenta la información brindada en los artículos incluidos en la revisión se identifican algunos de los factores fisiológicos que se han estudiado hasta el momento y los hallazgos reportan que influyen en el rendimiento en Crossfit. Con base en las categorías propuestas para el análisis de la información en la presente revisión se puede describir.

**Factores fisiológicos**

Respecto a los biomarcadores del sistema inmunológico no se encuentra mayor respaldo bibliográfico, sin embargo (Poderoso et al., 2019) describe los niveles de linfocitos como respuesta a un proceso de entrenamiento en Crossfit. Como resultado de la revisión también se evidencia una tendencia al estudio del comportamiento de las interleucinas, por ejemplo, (Faelli et al., 2020) presenta un estudio con la presencia de la IL-1B y (Ramires A Tibana et al., 2016) reportan el análisis de las IL-6, IL-10 y la osteoprotegerina (biomarcador del sistema óseo) después de aplicar un estímulo fuerte con entrenamientos de Crossfit. Como propuesta del autor se propone a los interesados en abordar estudios enfocados en esta categoría profundizar las investigaciones en las interleucinas y los factores de crecimiento tumoral (TNF).

Los biomarcadores del estrés oxidativo y antioxidante reportados únicamente por (Kliszczewicz et al., 2015) quien examinó el daño oxidativo y capacidad antioxidante como respuesta a un estímulo fuerte en un entrenamiento de Crossfit y comparó con la repuesta generada en una carrera en cinta. Se propone que en futuros estudios se profundice en el comportamiento de estos biomarcadores en diferentes momentos del entrenamiento y la competencia en Crossfit.

Dentro del estudio de los biomarcadores del metabolismo de la glucosa merece la pena resaltar que es una de las categorías con mayor respaldo bibliográfico. El análisis del comportamiento de la glucosa (Durkalec-Michalski et al., 2018; Kliszczewicz et al., 2015; Tibana et al., 2016; Timón et al., 2019) dentro del análisis sanguíneo de diferentes momentos de la práctica del Crossfit. Las concentraciones de lactato (Ahmad et al., 2019; Durkalec-Michalski et al., 2018; Fernández-fernández et al., 2015; Michnik et al., 2017; Tibana et al., 2016; Tibana et al., 2018, 2019; Timón et al., 2019; Vieira et al., 2021), es una de las variables con mayor evidencia científica en referencia al rendimiento en Crossfit. Otras variables reportadas en los estudios incluidos que involucran esta categoría son la LDH (Durkalec-Michalski et al., 2018; Michnik et al., 2017; Timón et al., 2019). Aunque esta categoría reporta gran cantidad de estudios se puede profundizar más en determinar la respuesta interna del organismo en los episodios competitivos en el Crossfit para determinar el grado de relación con el rendimiento.

El estudio de los biomarcadores hormonales como respuesta a los estímulos generados por la práctica del Crossfit han sido reportados a partir del comportamiento de la testosterona y cortisol (Faelli et al., 2020; Poderoso et al., 2019); también se ha indagado acerca de la insulina, epinefrina y norepinefrina (Kliszczewicz et al., 2017) como indicadores de la respuesta a estímulos específicos en Crossfit analizados desde la recolección de plasma sanguíneo. Este campo de estudio es muy grande y da paso a investigar con mayor detalle el comportamiento de las hormonas influenciado por la práctica de esta disciplina deportiva para determinar el comportamiento y repercusión en el rendimiento competitivo de la misma.

En torno a los biomarcadores del daño muscular o inflamatorios no se encuentra información abundante, sin embargo, la CK es el biomarcador frecuentemente registrado en las investigaciones (Durkalec-Michalski et al., 2018; Michnik et al., 2017; Timón et al., 2019) como parte del análisis sanguíneo a los participantes de diferentes los estudios, tomados en diferentes momentos de los procesos de entrenamiento específico de Crossfit, es importante profundizar respecto al comportamiento de la CK y otros biomarcadores que indiquen la respuesta del tejido muscular a los estímulos generados por la práctica y competencia de esta disciplina deportiva.

Los biomarcadores cardiorrespiratorios son una de las temáticas con mayor respaldo bibliográfico, siendo el comportamiento y la variabilidad de la FC el parámetro más estudiado (Barbieri et al., 2019; Durkalec-Michalski et al., 2018; Fernández-fernández et al., 2015; Tibana et al., 2018, 2019; Timón et al., 2019; Vieira et al., 2021), como resultado de la revisión se identificó que en la mayoría de los estudios se reportó en monitoreo de esta variable. En esta misma categoría (Durkalec-Michalski et al., 2018; Fernández-fernández et al., 2015; Peña et al., 2021) presentan estudios con la medición del $VO_2$ máximo parámetro de control de los estímulos proporcionados a los participantes en la práctica y entrenamiento del Crossfit.

Aunque la mayoría de estudios reportan hacer exámenes de sangre en el desarrollo metodológico de la investigación y por medio de este insumo hacer el análisis de diferentes variables fisiológicas, no todos los parámetros evaluados pueden reportarse dentro de esta categoría de estudio. Como reflexión de la presente revisión se plantea el análisis, estudio y profundización de los biomarcadores presentados en ámbitos competitivos y de este modo poder establecer un paralelo

entre el efecto del entrenamiento y la repercusión en el rendimiento de los atletas.

**Factores complementarios**

Desde una perspectiva diferente a la fisiológica y teniendo en cuenta los factores complementarios analizados, en esta revisión se identificó que el estudio de variables diferentes a las fisiológicas tienen mayor respaldo bibliográfico, dentro de dichas variables se puede enunciar; el estudio relacionado con la nutrición (Ahmad et al., 2019; Durkalec-Michalski et al., 2019; Durkalec-Michalski et al., 2018; Michnik et al., 2017), la caracterización antropométrica de la población es una variable descrita constantemente en la metodología de las investigaciones (Peña et al., 2021; Timón et al., 2019; Vieira et al., 2021), también se presenta con frecuencia que para controlar o describir la intensidad de la práctica por parte de los atletas, los investigadores hacen uso la percepción del esfuerzo reportada por los atletas que hacen parte de los estudios (Ahmad et al., 2019; Fernández-fernández et al., 2015; Jacob et al., 2020; Poderoso et al., 2019; Tibana et al., 2018, 2019).

Respecto a las poblaciones, es bastante llamativo la poca presencia de muestras que involucren mujeres como sujetos de estudio (Durkalec-Michalski et al., 2018; Poderoso et al., 2019), también se resalta la nula evidencia científica en relación al efecto del entrenamiento y práctica en niños, adolescentes y personas de edad avanzada, aunque algunas son categorías de competencia mundial en los Crossfit Games. De igual forma pocas investigaciones se desarrollan con población de nivel competitivo profesional de alto rendimiento (Peña et al., 2021). La afirmación anterior deja un llamado de atención y abre campo a futuras investigaciones que involucren las poblaciones mencionadas relacionadas con la práctica, entrenamiento y competencia en Crossfit para así aumentar el campo de conocimiento y poder comparar más variables entre deportistas basados en el sexo y también importante lograr describir los factores más influyentes para el óptimo rendimiento en los deportistas del más alto nivel competitivo (Crossfit Games). También se deja abierta la puerta al estudio de estos factores en momentos de competencia y no solo de entrenamiento, teniendo en cuenta las variables adicionales que trae consigo el ámbito competitivo, los factores exógenos como pueden ser las motivaciones, ambientales, la distribución de las pruebas y demás que por naturaleza se presentará únicamente en espacios de carácter competitivo.

## LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Para el adecuado desarrollo de una revisión sistemática es importante la literatura, estudios y publicaciones previas relacionadas con el tema central propuesto, debido al relativo poco tiempo de consolidación del Crossfit como una disciplina deportiva estructurada los antecedentes científicos existentes no son muchos lo cual puede limitar de cierta manera la finalidad de la revisión.

La estructura metodológica presentada en los artículos incluidos en la revisión puede presentar algunas limitaciones respecto al tamaño y heterogeneidad de la muestra, por lo cual no se podrían generalizar los postulados en poblaciones masivas practicantes de Crossfit.

Las categorías y variables de análisis en la presente revisión son una propuesta del autor, basada en los conocimientos adquiridos previamente por lo cual puede presentar alguna limitación en el análisis del contenido de los estudios considerados.

## CONCLUSIONES

La revisión sistemática realizada permitió identificar los principales indicadores fisiológicos y externos referentes al rendimiento que han sido reportados en investigaciones científicas en los últimos años y otras tendencias de investigación en relación con el entrenamiento y práctica del Crossfit, también los vacíos temáticos de la investigación científica relacionados con esa disciplina.

Aunque el deportista de Crossfit asuma que tiene una condición física excepcional y una excelente capacidad de tolerancia a los estímulos físicos en los entrenamientos y competencias, debe considerar con igual importancia el efecto que tienen las variables fisiológicas, que muchas veces se pasan por alto, pero que definitivamente influyen en los resultados del rendimiento deportivo. De la misma forma y al igual que se entrenan las capacidades físicas en pro del mejor estado y desempeño en competencias de nada le servirá, si no se trabajan adecuadamente las adaptaciones metabólico-celulares tanto de forma aguda como crónica, como resultado de procesos óptimos de entrenamiento.

Sin discriminar la disciplina deportiva de la cual se hable, todo practicante ve influenciado su rendimiento por diferentes factores, que mejorados de forma conjunta resultaran en un aumento exponencial de nivel general. Sobre todo, a nivel competitivo de alto rendimiento donde el nivel es tan similar cualquier diferencia en pequeños factores puede significar el cambio en los resultados deportivos, es por esta razón que se presenta la clasificación de factores y se propone tener presente todos a la hora de controlar el progreso de los deportistas en el proceso de entrenamiento.

## REFERENCIAS


Ahmad, A., Jusoh, N., & Tengah, N. (2019). Acute physiological responses and performance following subsequent CrossFit 'CINDY' workout with Zea Mays juice. *Physical education of students, 23(2), 57-63. https://* doi.org/10.15561/20755279.2019.0201

Barbieri, J. F., Figueiredo, G. T. C., Castano, L. A. A., Guimaraes, P. S., Ferreira, R. R., Ahmadi, S., Gaspari, A. F., & de Moraes, A. C. (2019). A comparison of cardiorespiratory responses between crossfit® practitioners and recreationally trained individual. *Journal of Physical Education and Sport, 19(3), 1606-1611. https://* doi.org/10.7752/jpes.2019.03233

Barron, D., Ball, G., Robins, M., & Sunderland, C. (2020). Identifying playing talent in professional football using artificial neural networks. *Journal of Sports Sciences, 38(11–12), 1211–1220. https://* doi.org/10.1080/02640414.2019.1708036

Bellar, D., Hatchett, A., Judge, L. W., Breaux, M. E., & Marcus, L. (2015). Herthe relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and experience to performance in CrossFit exercise. *Biology of Sport, 32(4), 315–320. https://* doi.org/10.5604/20831862.1174771

Burgos, D. M. E., Manterola, D. C., & Sanhueza, C. A. (2011). Diseño de una escala para evaluar calidad metodológica de estudios de pruebas diagnósticas. *Estudio piloto. Revista Chilena de Cirugía, 63(5), 493–494. https://* doi.org/10.4067/s0718-40262011000500009

Dominski, F. H., Matias, T. S., Serafim, T. T., & Feito, Y. (2020). Motivation to CrossFit training: a narrative review. *Sport Sciences for Health, 16(2), 195-–206. https://* doi.org/10.1007/s11332-020-00619-5

Durkalec-Michalski, K., Nowaczyk, P. M., & Siedzik, K. (2019). Effect of a four-week ketogenic diet on exercise metabolism in CrossFit-trained athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition, 16(1). https://* doi.org/10.1186/s12970-019-0284-9

Durkalec-Michalski, K., Zawieja, E. E., Podgórski, T., Loniewski, I., Zawieja, B. E., Warzybok, M., & Jeszka, J. (2018). The effect of chronic progressive-dose sodium bicarbonate ingestion on CrossFit-like performance: A double-blind, randomized cross-over trial. *PLoS ONE, 13(5), 1-18. https://* doi.org/10.1371/journal.pone.0197480

Faelli, E., Bisio, A., Codella, R., & Ferrando, V. (2020). Acute and Chronic Catabolic Responses to CrossFit® and Resistance Training in Young Males. *Int. J. Environ. Res. Public Health, 17(19), 71721-15. https://* doi.org/10.3390/ijerph17197172

Feito, Y., Giardina, M. J., Butcher, S., & Mangine, G. T. (2019). Repeated anaerobic tests predict performance among a group of advanced crossfit-trained athletes. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism, 44(7), 727–735. https://* doi.org/10.1139/apnm-2018-0509

Feito, Yuri, Brown, C., Box, A., Heinrich, K. M., & Petruzzello, S. J. (2018). An Investigation Into How Motivational Factors Differed Among Individuals Engaging in CrossFit Training. *SAGE Open, 8(3). https://* doi.org/10.1177/2158244018803139

Fernández-Fernández, J., Sabido-Solana, R., Moya, D., Sarabia, J. M., & Moya, M. (2015). Acute physiological responses during crossfit® workouts. *European Journal of Human Movement, 35, 114-124.*

Glassman, G. (2016). Level 1 training guide. *The CrossFit Journal, 3, 1-258.*

Gómez-Landero, L. A., & Frías-Menacho, J. M. (2020). Analysis of Morphofunctional Variables Associated with Performance in Crossfit®Competitors. *Journal of Human Kinetics, 73(1), 83-91. https://* doi.org/10.2478/hukin-2019-0134

Jacob, N., Novaes, J. S., Behm, D. G., Vieira, J. G., Dias, M. R., & Vianna, M. (2020). Characterization of Hormonal, Metabolic, and Inflammatory Responses in CrossFit® Training: A Systematic Review. *Front. Physiol, 11, 1-15.* doi: 10.3389/fphys.2020.01001

Kliszczewicz, B., Buresh, R., Bechke, E., & Williamson, C. (2017). Metabolic Biomarkers Following a Short and Long Bout of High-intensity Functional Training in Recreationally Trained Men. *Journal of Human Sport and Exercise 12(3), 710-718. https://* doi.org/10.14198/jhse.2017.123.15

Kliszczewicz, B., John, C., Daniel, L., Gretchen, D., Michael, R., & Kyle, J. (2015). Acute Exercise and Oxidative Stress: CrossFit(™) vs. *Treadmill Bout. Journal of Human Kinetics, 47, 81-90. https://* doi.org/10.1515/hukin-2015-0064

Kramer, S. J., Baur, D. A., Spicer, M. T., Vukovich, M. D., & Ormsbee, M. J. (2016). The effect of six days of dietary nitrate supplementation on performance in trained CrossFit athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition, 13(1). https://* doi.org/10.1186/s12970-016-0150-y

Leitão, L., Dias, M., Campos, Y., Vieira, J. G., Sant'Ana, L., Telles, L. G., Tavares, C., Mazini, M., Novaes, J. and Vianna, J. (2021). Physical and Physiological Predictors of FRAN CrossFit® WOD Athlete's Performance. *Int J Environ Res Public Health, 18(8), 1-9. https://* doi.org/10.3390/ijerph18084070

Mangine, G. T., Stratton, M. T., Almeda, C. G., Roberts, M. D., Esmat, T. A., VanDusseldorp, T. A., & Feito, Y. (2020). Physiological differences between advanced CrossFit athletes, recreational CrossFit participants, and physically-active adults. *PLoS ONE, 15(4), 1–21. https://* doi.org/10.1371/journal.pone.0223548

Mangine, G. T., Tankersley, J. E., McDougle, J. M., Velazquez, N., Roberts, M. D., Esmat, T. A., VanDusseldorp, T. A., & Feito, Y. (2020). Predictors of CrossFit Open Performance. *Sports, 8(7), 102. https://* doi.org/10.3390/sports8070102

Michnik, A., Sadowska-Krępa, E., Domaszewski, P., Duch, K., & Pokora, I. (2017). Blood serum DSC analysis of well-trained men

response to CrossFit training and green tea extract supplementation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 130(3), 1253-1262. https://* doi.org/10.1007/s10973-017-6346-9

Moro, T., Badiali, F., Fabbri, I., & Paoli, A. (2020). Betaine supplementation does not improve muscle hypertrophy or strength following 6 weeks of cross-fit training. *Nutrients, 12(6), 1-10. https://* doi.org/10.3390/nu12061688

Outlaw, J. J., Wilborn, C. D., Smith-Ryan, A. E., Hayward, S. E., Urbina, S. L., Taylor, L. W., & Foster, C. A. (2014). Effects of a pre-and post-workout protein-carbohydrate supplement in trained crossfit individuals. *SpringerPlus, 3(1), 1-7. https://* doi.org/10.1186/2193-1801-3-369

Peña, J., Moreno-doutres, D., Peña, I., Chulvi-medrano, I., Ortegónorte, A., & Aguilera-castells, J. (2021). Predicting the Unknown and the Unknowable. *Are Anthropometric Measures and Fitness Profile Associated with t® the Outcome of a Simulated CrossFit® Competition? Int. J. Environ. Res. Public Health, 18(7), 3, 1-10. https://* doi.org/10.3390/ijerph18073692

Poderoso, R., Cirilo-Sousa, M., Júnior, A., Novaes, J., Vianna, J., Dias, M., Leitão, L., Reis, V., Neto, N., & Vilaça-Alves, J. (2019). Gender differences in chronic hormonal and immunological responses to crossfit®. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(14), 1-9. https://* doi.org/10.3390/ijerph16142577

Serafini, P. R., Feito, Y., & Mangine, G. T. (2018). Self-reported measures of strength and sport-specific skills distinguish ranking in an international online fitness competition. *Journal of Strength and Conditioning Research, 32(12), 3474-3484. https://* doi.org/10.1519/jsc.0000000000001843

Tibana, R. A., de Farias, D. L., Nascimento, D. C., Da Silva-Grigoletto, M. E., & Prestes, J. (2018). Relação da força muscular com o desempenho no levantamento olímpico em praticantes de CrossFit®. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte, 11(2), 84–88. https://* doi.org/10.1016/j.ramd.2015.11.005

Tibana, R. A, de Almeida, L. M, Frade de Sousa, N. M., Nascimento D. d C., Neto I. V. d S., de Almeida, J. A., de Souza, V. C, Lopes, M. d F.T.P.L., Nobrega, O. d T., Vieira, D. C. L, Navalta J.W. and Prestes, J. (2016). Two Consecutive Days of Extreme Conditioning Program Training Affects Pro and Anti-inflammatory Cytokines and Osteoprotegerin without Impairments in Muscle Power. *Front. Physiol. 7, 1-8.* doi: 10.3389/fphys.2016.00260

Tibana, R. A., Frade de Sousa, N. M., Prestes, J., da Cunha Nascimento, D., Ernesto, C., Falk Neto, J. H., Kennedy, M. D., Voltarelli, A. (2019). Is Perceived Exertion a Useful Indicator of the Metabolic and Cardiovascular Responses to a Metabolic Conditioning Session of Functional Fitness? Sports 2019, 7(7), 1-12. *https://* doi.org/10.3390/sports7070161

Tibana, R. A., Frade de Sousa, N. M., Prestes, J., & Voltarelli, A. (2018). Lactate, Heart Rate and Rating of Perceived Exertion Responses to Shorter and Longer Duration CrossFit® Training Sessions. *J. Funct. Morphol. Kinesiol, 3(4), 1-9. https://* doi.org/10.3390/jfmk3040060

Timón, R., Olcina, G., Camacho-Cardeñosa, M., Camacho-Cardenosa, A., Martinez-Guardado, I., & Marcos-Serrano, M. (2019). 48-hour recovery of biochemical parameters and physical performance after two modalities of CrossFit workouts. *Biology of Sport, 36(3), 283-289. https://* doi.org/10.5114/biolsport.2019.85458

Urdampilleta, A., Martínez-Sanz, J. M., Cejuela, R. (2012). Indicadores del rendimiento deportivo: aspectos psicológicos, fisiológicos, bioquímicos y antropométricos. *EFDeportes.com, Revista Digital, 173. http://www.efdeportes.com/efd173/indicadores-del-rendimiento-deportivo.htm*