

DIFERENCIAS EN CICLISTAS DE CICLOCROSS SEGÚN GRUPOS DE RENDIMIENTO EN COPAS DEL MUNDO

**GRADO EN
CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE**

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ



CURSO ACADÉMICO 2025/2026

Alumno/a: (Alejandro Navalón Castellanos)

Tutor académico: (Manuel Mateo March)

ÍNDICE

Resumen.	3
Abstract.....	3
1. Contextualización.	4
2. Método.....	4
2.1. Diseño del estudio y participantes.....	4
2.2. Variables Analizadas.....	6
2.3. Preprocesamiento y limpieza de datos.	6
2.4. Análisis estadístico.	6
3. Resultados.	7
3.1. Potencia normalizada (NP, W).....	8
3.2. Pico de potencia en 30 segundos (W).	9
3.3. Tiempo sin pedalear (0 W) (%).	9
3.4. Tiempo a baja velocidad compatible con zonas técnicas o desplazamiento a pie (< 12 km/h) (%).	9
3.5. Frecuencia cardíaca media (lpm).	9
3.6. Variabilidad de la velocidad (flujo).....	9
4. Discusión.	9
5. Conclusiones.....	11
5.1. Implicaciones prácticas.	11
5.3 Nuevas líneas de trabajo para el futuro.....	12
5.4 Limitaciones metodológicas.	12
6. Bibliografía.	12
7. Anexos.....	13

Resumen.

Introducción: El ciclocross es una disciplina de ciclismo que se disputa en circuitos técnicos y con cuestras de entre 2,5 y 3,5 km, con una duración aproximada de carrera de una hora. Exige una gran destreza en el manejo de la bicicleta y una excelente condición física debido a las irregularidades y obstáculos de los circuitos. Además, en algunos tramos, los competidores deben cargar con sus bicicletas. El objetivo de este trabajo es estudiar las variables que diferencian el rendimiento de los más top respecto al resto.

Método: Se partió de una base de 370 archivos de datos de ciclistas de élite y sub-élite en copas del mundo de ciclocross. Los ciclistas fueron categorizados en cinco grupos según su posición final de carrera y se realizó una comparativa entre grupos de diversas variables registradas como potencia, velocidad o frecuencia cardíaca.

Resultados: Se pudo observar que la variable más discriminante fue el tiempo a baja velocidad compatible con zonas técnicas o desplazamiento a pie, seguida del pico de potencia en esfuerzos de 30 segundos. Los resultados indican que el rendimiento en ciclocross depende tanto de factores de condición física como de la eficiencia técnica.

Palabras clave: Ciclocross, Copa del Mundo, Potencia, Rendimiento.

Abstract.

Introduction: Cyclocross is a cycling discipline held on technical circuits with hills, approximately 2.5 to 3.5 km in length, with races lasting about one hour. It requires great skill in handling the bicycle and excellent physical conditioning due to the uneven terrain and obstacles on the circuits. In addition, on some sections, competitors must carry their bicycles. The objective of this study is to examine the variables that differentiate the performance of top-tier riders from the rest.

Method: The study began with a dataset of 370 records from elite and sub-elite cyclists in cyclocross world cups. The cyclists were categorized into five groups based on their final race position, and a comparison was made between groups for various recorded variables such as power, speed, and heart rate.

Results: It was observed that the most discriminating variable was the time spent walking or riding at very low speed in technical sections, followed by peak power during 30-second efforts. The results indicate that performance in cyclocross depends on both physical fitness factors and technical efficiency.

Key words: Cyclocross, World Championship, Power, Performance.

1. Contextualización.

El ciclocross (CX) es una disciplina del ciclismo regulada por la Unión Ciclista Internacional que se disputa en circuitos cortos, mixtos y técnicos, con superficies de hierba, barro o arena, e incluye obstáculos que exigen desmontar, correr con la bicicleta y volver a montar. Las pruebas se desarrollan en otoño e invierno, con duraciones aproximadas de 40–60 minutos según la categoría (Unión Ciclista Internacional, 2026). Este formato combina tramos de pedaleo con tramos a pie (pateo) y frecuentes cambios de ritmo, lo que configura un perfil de esfuerzo intermitente y con fuerte dependencia de la destreza técnica.

A nivel fisiológico, las investigaciones basadas en situaciones reales de competición describen el ciclocross como una disciplina de una exigencia cardiovascular extrema, continua y saturada. Durante una prueba real, los ciclistas desarrollan la carrera prácticamente en su totalidad por encima de sus umbrales aeróbicos y permanecen el 93.6% del tiempo total en zonas de alta intensidad cardíaca (Carmichael et al., 2017).

Ante la limitada literatura científica específica en situaciones reales de ciclocross, la investigación suele recurrir a las evidencias desarrolladas en el Mountain Bike (MTB) y Cross-Country Olímpico (XCO), disciplinas off-road con la que comparte una estrecha similitud en cuanto a demandas metabólicas y variabilidad de la potencia sobre terrenos irregulares. Aquí la evidencia apunta a una mayor importancia de los esfuerzos de alta intensidad y corta duración y se observa un patrón de esfuerzo más intermitente durante las carreras, en el que los atletas pasan una cuarta parte del tiempo por encima de su potencia aeróbica máxima, intercalado con periodos de ciclismo técnico que imponen una alta demanda fisiológica (Protzen et al., 2026). Las disciplinas off-road imponen un estrés cardiovascular continuo donde la frecuencia cardíaca media se sitúa de forma constante en torno al 90% de la máxima, un fenómeno condicionado sustancialmente por la elevada resistencia a la rodadura que ejercen las superficies blandas o deformables (como el barro o la arena) y por la necesidad de un constante dominio técnico en el manejo de la bicicleta (Impellizzeri & Marcora, 2007). Aun así, la evidencia reciente en Copas del Mundo demuestra que el rendimiento no es solo una cuestión de fuerza o técnica aislada, sino de cómo el ciclista gestiona su ritmo mientras lucha por mantener su posición en el pelotón (Sánchez-Jiménez et al., 2026).

En este marco, y atendiendo a las particularidades técnicas e intermitentes del ciclocross en competición, la pregunta que guía este trabajo es: entre ciclistas que participan en Copas del Mundo de ciclocross, ¿qué diferencias presentan los grupos de mayor rendimiento frente al resto de corredores en aspectos fisiológicos, cinemáticos y técnicos registrados en carreras?

El objetivo del presente trabajo fue analizar las diferencias en variables fisiológicas, cinemáticas y técnico-tácticas entre grupos de rendimiento en Copas del Mundo de ciclocross

2. Método.

2.1. Diseño del estudio y participantes.

Este estudio empleó un diseño observacional descriptivo y retrospectivo de corte transversal con una muestra inicial de 370 archivos correspondientes a 92 ciclistas distintos de categoría élite y sub-élite en 14 circuitos internacionales de ciclocross de los años 2025 y 2026. A efectos de este estudio, se entiende por archivo el registro individual de un ciclista en una carrera concreta, equivalente por tanto a una participación. La unidad de análisis fue el archivo individual, por lo que un mismo ciclista puede estar representado por varios archivos si compitió en más de una prueba. Primero se comprobó la clasificación de cada carrera en las páginas de

Cyclocross24 y la Unión Ciclista Internacional. Mientras que los datos se extrajeron a través de la página web de Strava con formato ".FIT" y convertido posteriormente en formato ".CSV".

Como criterios de inclusión se exigió que los archivos contuvieran datos válidos de geolocalización (GPS) y velocidad. Como se indica en la Tabla 1, durante el análisis se descartaron 2 archivos debido a un error de nomenclatura en la carrera. Tras esto, la muestra se subdividió según la disponibilidad de sensores: 75.2% de los archivos aportaron datos de potencia (W) y el 59.6% de los archivos, datos de frecuencia cardiaca (HR).

Tabla 1

Datos obtenidos separados por circuitos

Carrera	N	Con power	Con HR	Con cadencia	%Power
Benidorm	45	34	26	7	76%
Maasmechelen	46	37	25	6	80%
Dendermonde	53	42	36	10	79%
Amberes	36	26	18	3	72%
Koksijde	23	18	14	2	78%
Hoogerheide	20	17	14	0	85%
Hulst	21	15	13	3	71%
Lievin	16	13	11	2	81%
Namur	19	13	11	1	68%
Gavere	20	15	11	1	75%
Zonhoven	24	18	12	4	75%
Flamanville	18	12	10	2	67%
Tabor	15	10	9	1	67%
Terralba	12	7	8	0	58%

Nota. GPS y altitud disponibles en el 100% de los archivos. Cadencia solo en el 11,3% (no recomendada para análisis comparativo). Terralba presenta la menor cobertura de potencia (58%) mientras que Hoogerheide la mayor (85%). Dos archivos presentan errores de nomenclatura en nombre de carrera (N23, N44).

Para el análisis comparativo, los sujetos fueron categorizados en 5 grandes grupos de rendimiento competitivo en función de su posición final en la clasificación oficial de la prueba:

- Top 5 (élite mundial/podio).
- Top 6-10 (alto rendimiento).
- Top 11-20 (nivel competitivo intermedio-alto).
- Top 21-50 (nivel medio).
- Top>50 (cola del pelotón).

Con el objetivo de detallar el reparto de los archivos según los grupos de rendimiento, en la Tabla 2 se presenta un desglose más exhaustivo de los archivos y qué tipo de variable se dispone de cada grupo de rendimiento.

Tabla 2.

Datos separados por grupo de rendimiento con número de archivos que contienen cada variable

Grupo	N	Power	HR	Power+HR	Solo Power	Solo HR	Sin ninguno
Top 5	27	19	3	3	16	0	8
Top 6-10	51	40	29	29	11	0	11
Top 11-20	63	44	41	36	8	5	14
Top 21-50	196	149	126	112	37	14	33
Top >50	33	26	21	18	8	3	4

Nota. La tabla muestra el número de archivos que se tiene de cada grupo, además de un análisis más detallado de qué variables contienen esos mismos archivos.

2.2. Variables Analizadas.

A partir de los datos crudos muestreados a 1 Hz, se calcularon métricas avanzadas mediante scripts de Python (pandas, numpy). Las variables obtenidas fueron las siguientes:

- **Potencia Normalizada (NP):** Calculada mediante una media móvil de 30 segundos elevada a la cuarta potencia, para estimar el coste fisiológico real en un entorno estocástico.
- **Pico de Potencia de 30s (W):** Valor máximo obtenido al aplicar una media móvil de 30 segundos sobre la curva de potencia, indicando la capacidad del ciclista para producir esfuerzos intensos de corta duración.
- **Tiempo a baja velocidad compatible con zonas técnicas o desplazamiento a pie (%):** Porcentaje del tiempo total de la carrera en el que el ciclista rodó por debajo de 12 km/h o se desplazó a pie (pateo) superando obstáculos (barro denso, arena, escaleras).
- **Tiempo sin Pedalear a 0W (%):** Porcentaje del tiempo total donde la potencia registrada fue inferior a 5W (considerado como inactividad de pedaleo o *freewheeling*).
- **Frecuencia Cardíaca Media (HRMedia):** Promedio de pulsaciones por minuto durante la totalidad de la prueba.

2.3. Preprocesamiento y limpieza de datos.

Para garantizar la fiabilidad e integridad de la base de datos, se sometió a los registros en bruto a un protocolo riguroso de detección y eliminación de valores atípicos (outliers) mediante el método del rango intercuartílico (IQR). Donde se definieron valores a excluir aquellos situados fuera del intervalo matemático, calculado de manera independiente para cada variable y grupo competitivo. Este proceso fue clave para filtrar errores de lectura de los potenciómetros (como picos irreales superiores a 2000W provocados por saltos de cadena) e interferencias en las bandas de frecuencia cardíaca para no sesgar el rendimiento real de los ciclistas.

2.4. Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico, se trataron los datos bajo un entorno de computación científica (Python con librerías scipy.stats y seaborn), estableciendo el nivel de significación en $\alpha = 0.05$.

1. Para los supuestos previos, se evaluó la distribución de la muestra mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se constató que variables clave (Pico 30s, Tiempo de Pateo, HR Media) violaban el supuesto de normalidad, justificando el uso de estadística no paramétrica.
2. En cuanto a la estadística inferencial, para identificar diferencias globales entre los cinco grupos de rendimiento, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis. En las variables que mostraron significación, se realizaron comparaciones por pares (post-hoc).
3. Respecto al control de errores y tamaño del efecto, se aplicó la corrección de Bonferroni para minimizar el riesgo de error Tipo I derivado de las comparaciones múltiples. La magnitud de las diferencias se cuantificó utilizando la correlación de rango-biserial (r), interpretándose según las guías estándar: efecto pequeño (< 0.3), moderado ($0.3 - 0.5$) y grande (> 0.5). Dado que un mismo ciclista pudo contribuir con más de un archivo, las observaciones no son completamente independientes, lo que debe tenerse en cuenta en la interpretación de los resultados.

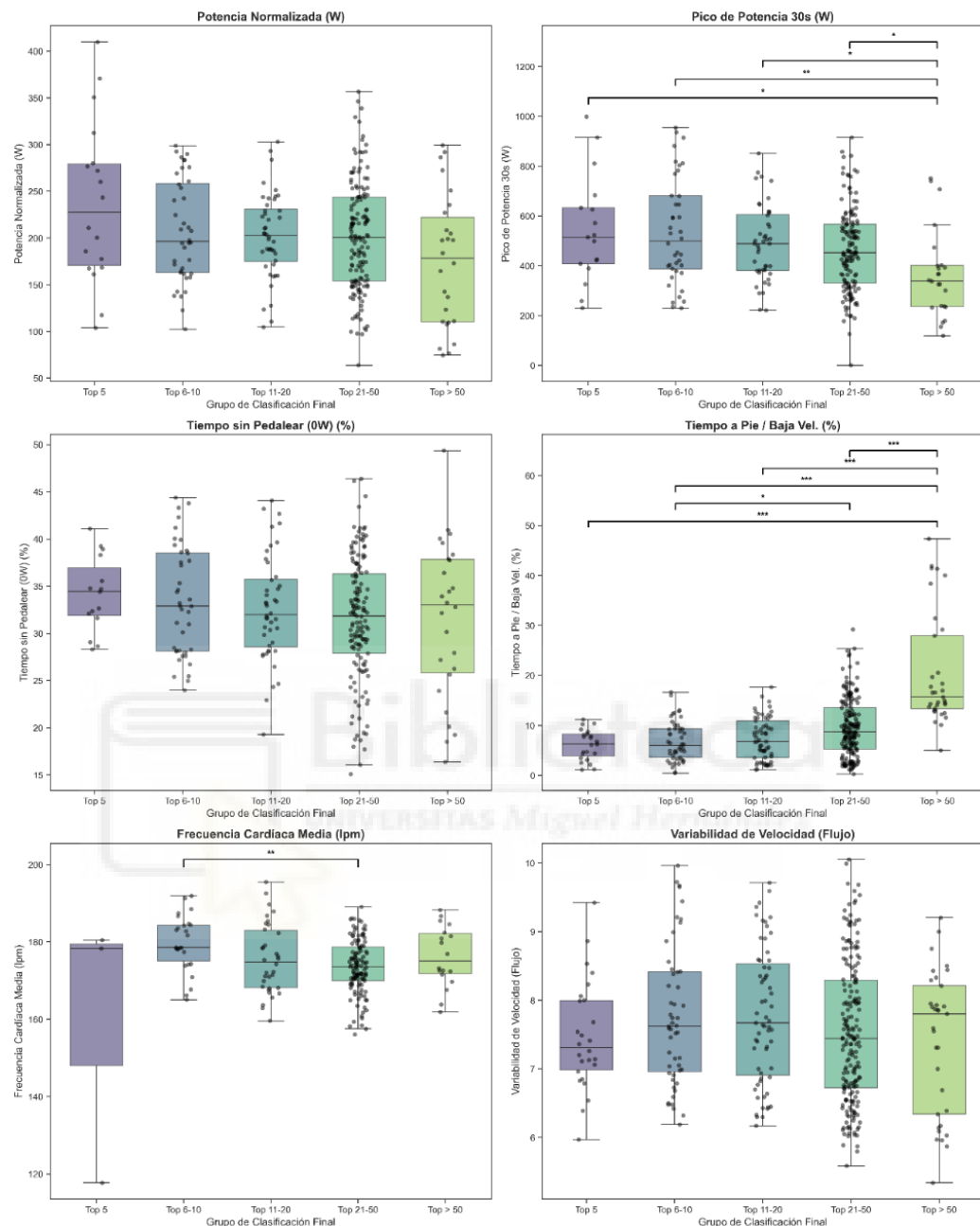
3. Resultados.

Los principales resultados del análisis de variables cinemáticas y fisiológicas según su grupo de rendimiento se presentan en la Figura 1 y se desarrollan individualmente en diferentes apartados.



Figura 1.

Resultados del análisis de variables cinemáticas y fisiológicas por grupos de rendimiento.



Nota. Gráfica de cajas y dispersión que compara los cinco grupos de rendimiento en las siguientes variables: potencia normalizada, pico de potencia 30s (W), tiempo sin pedalear (0W)(%), tiempo a pie/baja velocidad (%), frecuencia cardíaca media (lpm) y variabilidad de velocidad (flujo).

3.1. Potencia normalizada (NP, W).

La potencia normalizada mostró un patrón descriptivo favorable a los grupos delanteros, con valores medios de 237.19 W en el Top 5 frente a 175.12 W en el Top > 50 (Figura 1). No obstante, la diferencia global entre los cinco grupos no alcanzó significación estadística tras aplicar las correcciones pertinentes ($p = 0.13$). Por tanto, la NP por sí sola no explica de manera concluyente las diferencias de rendimiento observadas en esta muestra.

3.2. Pico de potencia en 30 segundos (W).

Como se puede observar en la Figura 1, el pico de potencia en 30 s mostró diferencias significativas entre los cinco grupos de rendimiento ($H = 15.38$; $p = 0.004$). Los ciclistas mejor clasificados registraron valores superiores, con una media de 543 W en el Top 5 frente a 364 W en el Top > 50. Las comparaciones por pares confirmaron que el contraste entre ambos grupos extremos fue el más marcado, con un tamaño de efecto grande ($r \approx 0.525$). Esta variable discrimina de forma consistente el rendimiento competitivo en ciclocross.

3.3. Tiempo sin pedalear (0 W) (%).

Como se refleja en la Figura 1, los ciclistas invirtieron aproximadamente entre el 31% y el 34% del tiempo total de carrera sin aplicar potencia al pedal, con distribuciones similares entre grupos. No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre niveles de rendimiento para esta variable, por lo que se reporta como hallazgo descriptivo.

3.4. Tiempo a baja velocidad compatible con zonas técnicas o desplazamiento a pie (< 12 km/h) (%).

Esta variable fue el indicador más discriminante del estudio (Figura 1). El análisis global reveló diferencias muy marcadas entre grupos ($H = 66.93$; $p < 0.001$), con porcentajes notablemente menores en los ciclistas de mayor rendimiento. El contraste entre Top 5 y Top > 50 presentó una magnitud de efecto muy alta ($r \approx 0.955$), lo que evidencia que minimizar el tiempo en zonas técnicas caminando o a muy baja velocidad es el factor que mejor separa a la élite del resto de la clasificación.

3.5. Frecuencia cardíaca media (lpm).

La frecuencia cardíaca media mostró diferencias significativas entre grupos ($p = 0.012$), tal como se aprecia en la Figura 1. La comparación más consistente se encontró entre el Top 6–10 y el Top 21–50, con un tamaño de efecto moderado ($r \approx 0.454$). Los grupos delanteros (Top 5 y Top 6–10) presentaron rangos similares entre sí, lo que sugiere que competir en posiciones de cabeza implica una demanda cardiovascular comparable independientemente de si se está dentro o fuera del top 5.

3.6. Variabilidad de la velocidad (flujo).

La variabilidad de la velocidad no mostró un patrón diferencial claro entre grupos de rendimiento (Figura 1). No se obtuvieron valores significativos ni en el contraste global ni en las comparaciones por pares, por lo que esta variable no aporta evidencia estadística que permita diferenciar los niveles de rendimiento analizados.

4. Discusión.

Este trabajo identifica dos rasgos principales que diferencian el rendimiento en ciclocross: la capacidad de generar potencia elevada en esfuerzos cortos de 30 segundos y, de forma aún más marcada, la reducción del tiempo a baja velocidad compatible con zonas técnicas o desplazamiento a pie. Ambos hallazgos son coherentes con la naturaleza intermitente y altamente técnica del CX.

La relevancia del pico de potencia de 30 s concuerda con lo descrito en disciplinas afines como el XCO, donde la evidencia científica constata un patrón de esfuerzo marcadamente estocástico, caracterizado por la presencia de fracciones sustanciales de la carrera por encima de la potencia aeróbica máxima y una contribución notable de esfuerzos breves y de muy alta intensidad (Protzen et al., 2026). En este sentido, Granier et al. (2018) confirman que el rendimiento en competiciones internacionales de esta modalidad depende críticamente de la capacidad para encadenar picos de potencia máxima intermitentes con recuperaciones muy breves. Asimismo, ya se había señalado de forma clásica que, además del componente aeróbico, la capacidad anaeróbica y la producción de picos de potencia en ascensos y salidas rápidas actúan como factores determinantes del rendimiento en MTB y disciplinas off-road (Impellizzeri & Marcora, 2007; Lee et al., 2002); un aspecto respaldado por Macdermid & Morton (2012), quienes destacan el impacto crítico de la potencia inicial en la salida sobre el resultado competitivo. Estos marcos teóricos sustentan que las métricas de potencia máxima de corta duración, como el pico de 30 s analizado en este estudio (donde el Top 5 alcanzó un promedio de 543 W frente a los 354 W del grupo de menor rendimiento), resulten fundamentales para separar de manera consistente y robusta los diferentes niveles competitivos.

El papel decisivo del tiempo a baja velocidad compatible con zonas técnicas o desplazamiento a pie (< 12 km/h) subraya la importancia crítica de la eficiencia técnica en el ciclocross. Mantener una trazada óptima, la tracción y la estabilidad sobre superficies altamente inestables y deformables (como el barro, la arena o la hierba) reduce las pérdidas de inercia y de tiempo. La literatura en disciplinas off-road respalda esta observación; Impellizzeri & Marcora (2007) destacan que la destreza técnica y la economía de manejo son factores determinantes que explican las diferencias de rendimiento real en carrera entre ciclistas que presentan perfiles fisiológicos idénticos en el laboratorio. En este sentido, la investigación en modalidades técnicas como el descenso corrobora que la habilidad técnica y la agilidad para superar secciones complejas diferencian el nivel competitivo, al permitir conservar la velocidad sin necesidad de realizar frenados innecesarios (Chidley et al., 2015). Asimismo, las reducciones bruscas de velocidad y los cambios de ritmo representan una alteración del ritmo de carrera que los atletas de élite logran mitigar mejor en los tramos con muchas curvas (Abbiss et al., 2013). Este comportamiento coincide con el dato más claro de nuestro estudio, donde el tiempo a baja velocidad compatible con zonas técnicas o desplazamiento a pie fue la variable que mejor diferenció a los grupos (con un tamaño de efecto masivo de $r = 0.955$), consolidando la eficiencia técnica en zonas complejas como el factor clave que separa a la élite del resto de competidores en el ciclocross (Ouvrard et al., 2015).

Las diferencias en la frecuencia cardíaca media entre los grupos coinciden con lo que se suele observar en disciplinas off-road como el XCO: aunque la potencia que se aplica a los pedales cambia continuamente por los obstáculos, las pulsaciones se mantienen bastante estables y cerca de los valores máximos (Smekal et al., 2015). Esto se debe a la fatiga cardiorrespiratoria acumulada y al trabajo de fuerza isométrica que exige el control de la bicicleta en las zonas técnicas. Este comportamiento ayuda a entender por qué competir en las posiciones de cabeza implica mantener una intensidad interna muy elevada, incluso cuando hay tramos en los que no se pedalea o se va a baja velocidad. De hecho, como se puede observar en la Figura 1, los rangos de frecuencia cardíaca son muy similares entre el Top 5 y el Top 6–10, lo que sugiere que la exigencia cardiovascular es igual de alta para todos los corredores que lideran la carrera en el ciclocross (Ouvrard et al., 2015).

Por el contrario, la potencia normalizada no mostró diferencias claras entre los grupos, a pesar de que los valores eran ligeramente más altos en los corredores de élite. En disciplinas con tantos cambios de ritmo como el ciclocross, donde el rendimiento depende de picos de fuerza puntuales y de pasar el menor tiempo posible a baja velocidad, las métricas que hacen un promedio global pueden ocultar información importante. En modalidades de MTB ya se ha

descrito que la potencia varía continuamente, repartiendo los esfuerzos de alta intensidad en bloques muy cortos (Abbiss et al., 2013). En este marco, resulta lógico que los indicadores de potencia máxima de corta duración y las métricas técnicas diferencien mejor el nivel de los ciclistas que los promedios generales de toda la carrera (Impellizzeri & Marcora, 2007).

La vertiente táctica también resulta crucial: en CX, la estrategia de ritmo y el posicionamiento temprano influyen de forma clara en el resultado final, al facilitar evitar embudos y capitalizar tramos selectivos del circuito. Esto concuerda con los datos de mayor demanda interna y menor tiempo perdido en zonas técnicas observados en los corredores que logran rodar en posiciones delanteras desde fases tempranas (Bossi et al., 2018). En esta línea, Sánchez-Jiménez et al. (2026) demostraron recientemente en Copas del Mundo de CX que las posiciones quedan prácticamente sentenciadas en torno al 60% de la carrera, un "punto de no retorno" a partir del cual la variabilidad de puestos disminuye drásticamente. Este fenómeno guarda una estrecha analogía con el MTB; en pruebas de XCO de élite, Vigário et al. (2021) ya evidenciaron que la posición lograda al final de la primera vuelta es el predictor más fuerte del resultado final, limitando severamente las posibilidades de remontada. Esta necesidad de posicionamiento inicial justifica la adopción generalizada de perfiles de ritmo de "salida rápida" (fast-start pacing), un modelo donde se asume un coste fisiológico crítico al inicio para asegurar una ventaja táctica y posicional determinante (Renfree et al., 2015). Todo ello respalda la importancia de la estabilización posterior del ritmo descrita en disciplinas intermitentes off-road (Protzen et al., 2026), sugiriendo que el éxito depende de asegurar una plaza de vanguardia al inicio para luego gestionar de forma eficiente la fatiga.

Los resultados de esta discusión deben interpretarse teniendo en cuenta sus limitaciones. Una parte de las referencias utilizadas procede del XCO y el MTB en general; aunque estas disciplinas comparten el carácter intermitente y la exigencia técnica del ciclocross, difieren en la duración total de las pruebas y en la cantidad de tramos que se hacen a pie. Aun así, la similitud en los hallazgos justifica que se puedan comparar de forma segura.

5. Conclusiones.

El rendimiento competitivo en ciclocross se explica principalmente por dos factores: la capacidad de generar potencia elevada en esfuerzos breves (≈ 30 s) y, de forma aún más determinante, la eficiencia técnica que reduce el tiempo a baja velocidad compatible con zonas técnicas o desplazamiento a pie.

La frecuencia cardíaca media (HRMedia) confirma una exigencia interna muy alta en quienes ruedan en cabeza, aunque existen solapamientos entre grupos.

La potencia normalizada (NP), pese a ser descriptivamente mayor en la élite, no discrimina de forma concluyente entre niveles cuando se considera la variabilidad propia del CX.

El tiempo sin pedalear (0 W) es elevado y relativamente homogéneo entre grupos, lo que refuerza que el entorno estocástico de la prueba penaliza métricas basadas en promedios y pone en valor indicadores situacionales y técnico-tácticos.

5.1. Implicaciones prácticas.

En términos aplicados, conviene priorizar un entrenamiento intermitente de alta intensidad con esfuerzos de 15–30 segundos y recuperaciones incompletas que reproduzca la dinámica real de carrera; integrar sesiones específicas de técnica bajo fatiga en superficies de baja adherencia (arena, barro, escaleras y curvas de 180°) para mantener la montura y optimizar la trazada, reduciendo el tiempo a pie o a muy baja velocidad; y desarrollar fuerza y potencia

explosiva orientadas a las arrancadas a baja cadencia y a las aceleraciones tras curvas y remontajes.

5.3 Nuevas líneas de trabajo para el futuro.

De cara a nuevas líneas, se debería analizar de forma directa la relación entre el tipo de circuito y las métricas de rendimiento (comparando superficies y condiciones como arena frente a arcilla y escenarios seco, barro denso o hielo) para estimar su efecto sobre el porcentaje de tiempo a baja velocidad o a pie y la variabilidad de la velocidad; incorporar análisis cinemático mediante unidades de medición inercial (IMUs) para cuantificar impactos, vibraciones y estabilidad técnica y vincular estos indicadores con pérdidas de velocidad, desmontes y tiempos por vuelta; y considerar la variabilidad instrumental derivada del uso de diferentes marcas de potenciómetros y bandas de frecuencia cardíaca, manteniendo procedimientos de control y filtrado (IQR) y evaluando su impacto residual sobre las métricas finales.

5.4 Limitaciones metodológicas.

El presente trabajo presenta diversas limitaciones metodológicas que deben considerarse en la interpretación de los resultados. La disponibilidad desigual de sensores entre ciclistas condicionó el análisis de algunas variables. El uso de potencia absoluta sin normalizar por masa corporal, ante la ausencia de datos de peso, limita la comparabilidad entre corredores. El umbral de 12 km/h establecido para definir el tiempo a baja velocidad compatible con zonas técnicas o desplazamiento a pie constituye un criterio arbitrario. Existe además una posible no independencia entre observaciones, así como diferencias entre circuitos y condiciones que no pueden controlarse en un contexto de competición real. Finalmente, debe tenerse en cuenta la variabilidad instrumental propia de los dispositivos empleados.

6. Bibliografía.

Abbiss, C. R., Ross, M. L. R., Garvican, L. A., Ross, N., Pottgiesser, T., Gregory, J., & Martin, D. T. (2013). The distribution of pace adopted by cyclists during a cross-country mountain bike World Championships. *Journal of Sports Sciences*, 31(7), 787–794. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.751118>

Bossi, A. H., O'Grady, C., Ebreo, R., Passfield, L., & Hopker, J. G. (2018). Pacing strategy and tactical positioning during cyclo-cross races. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 452–458. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0183>

Carmichael, R. D., Heikkinen, D. J., Mullin, E. M., & McCall, N. R. (2017). Physiological response to cyclocross racing. *Sports and Exercise Medicine - Open Journal*, 3(3), 74–80. <https://doi.org/10.17140/SEMOJ-3-152>

Chidley, J. B., MacGregor, A. L., Martin, C., Arthur, C. A., & Macdonald, J. H. (2015). Characteristics explaining performance in downhill mountain biking. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(2), 183–190. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0135>

Cyclocross24. (s. f.). *UCI World Cup cyclocross: Results and standings*. Recuperado el 17 de marzo de 2026, de <https://cyclocross24.com/standings/uci-world-cup/>

Granier, C., Abbiss, C. R., Aubry, A., Vauchez, Y., Dorel, S., Hausswirth, C., & Le Meur, Y. (2018). Power output and pacing during international cross-country mountain bike cycling.

International Journal of Sports Physiology and Performance, 13(9), 1243–1249.
<https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0516>

Impellizzeri, F. M., & Marcora, S. M. (2007). The physiology of mountain biking. *Sports Medicine*, 37(1), 59–71. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737010-00005>

Lee, H., Martin, D. T., Anson, J. M., Grundy, D., & Hahn, A. G. (2002). Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 20(12), 1001–1008. <https://doi.org/10.1080/026404102321011760>

Macdermid, P. W., & Morton, R. H. (2012). A longitudinal analysis of start position and the outcome of World Cup cross-country mountain bike racing. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 175–182. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.627368>

Ouvrard, T., Garbellotto, L., Soenen, F., & Grappe, F. (2015). Cyclo-cross performance and physiological/psychological parameters. *Journal of Science and Cycling*, 4(2). <https://doi.org/10.28985/jsc.v4i2.223>

Protzen, G., Inoue, A., Buzzachera, C., Doma, K., Devantier-Thomas, B., Herrero-Molleda, A., García-López, J., & Boullosa, D. (2026). The physiology of contemporary Olympic cross-country mountain biking: A systematic review. *Sports Medicine - Open*, 12, Article 16. <https://doi.org/10.1186/s40798-026-00976-4>

Renfree, A., Carmo, E. C. D., Martin, L., & Peters, D. M. (2015). The influence of collective behavior on pacing in endurance competitions. *Frontiers in Physiology*, 6, Article 373. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00373>

Sánchez-Jiménez, J. L., Javaloyes, A., Moya-Ramón, M., Zabala, M., & Mateo March, M. (2026). *Race dynamics and performance determinants in cyclo-cross* [Manuscrito enviado para publicación].

Smekal, G., von Duvillard, S. P., Hörmandinger, M., Moll, R., Heller, M., Pokan, R., Bacharach, D. W., LeMura, L. M., & Arciero, P. (2015). Physiological demands of simulated off-road cycling competition. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(4), 799–810. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26664277>

Strava. (s. f.). *Strava | Running, cycling & hiking app - Train, track & share*. Recuperado el 17 de marzo de 2026, de <https://www.strava.com/>

Unión Ciclista Internacional. (s. f.). *Cyclocross - Events & results: 2025–2026 UCI World Cup*. Recuperado el 17 de marzo de 2026, de <https://www.uci.org>

Vigário, P. (2021). Relationship between the position at the end of the first lap and the final classification in XCO MTB. *Revista Académica Internacional de Educación Física*, 1(5), 27–33. <https://doaj.org/article/5b8639224ff34b4c9854a64eeda2b67a>

7. Anexos.

ANEXO 1. Autorización COIR.

Una vez revisada su solicitud de evaluación ética le comunicamos que la misma ha sido **AUTORIZADA**:

Nombre del tutor/a:	Manuel Mateo March
Nombre del estudiante:	Alejandro Navalón Castellanos
Tipo de actividad:	2. Sin implicaciones ético-legales
Título	"DIFERENCIAS EN CICLISTAS DE CICLOCROSS SEGÚN GRUPOS DE RENDIMIENTO EN COPAS DEL MUNDO"
Evaluación de riesgos laborales	No solicitado/No procede
Evaluación ética humanos	No solicitado/No procede
Código provisional:	260415013100
Código de autorización COIR	TFG.GAF.MMM.ANC.260415
Caducidad	2 años

Pueden imprimir este correo como justificante de autorización ética COIR.

Aprovechamos para recordarle que no necesita realizar ningún trámite adicional con la Oficina de Investigación Responsable.

Un saludo,



Laura Jiménez Morgado

Oficina de Investigación Responsable

Vicerrectorado de Investigación y Transferencia

Universidad Miguel Hernández de Elche

Teléf.: 966658614 / 8614

