



## Influencia de la potencia en el rendimiento en el Cross-Country Olímpico en bicicleta de montaña

*The influence of power output on Olympic Cross-Country Mountain Biking performance*

### Autores

Genís Martí Casado <sup>1</sup>  
Cristina Bárcena Saludes <sup>1</sup>  
Sergi Nuell Turon <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escola Universitària de la Salut i l'Esport (EUSES), Universitat de Girona, Girona, Spain.

Autor de correspondencia:  
Sergi Nuell Turon  
snuell@euses.com

### Cómo citar en APA

Martí Casado, G., Barcena, C., & Nuell Turon, S. (2025). Influencia de la potencia en el rendimiento en el Cross-Country Olímpico en bicicleta de montaña. *Retos*, 63, 387-397. <https://doi.org/10.47197/retos.v63.109221>

### Resumen

**Objetivo:** El objetivo de este estudio fue analizar si la potencia es un buen indicador del rendimiento en competiciones de bicicleta todo terreno (BTT), específicamente en la SuperCup cross country olímpico (XCO) BTT de Banyoles-España.

**Metodología:** Se monitorizó la potencia de 10 ciclistas hombres profesionales de XCO-BTT durante la carrera y se analizó su relación con el rendimiento durante las subidas, las bajadas y los tramos llanos de la vuelta más rápida.

**Resultados:** Se encontró una correlación fuerte entre el rendimiento y la potencia media ( $P_{med}$ ) ( $R^2 = -.652$ ,  $p = .041$ ), y muy fuerte entre el rendimiento y la potencia relativa ( $P_{rel}$ ) ( $R^2 = -.887$ ,  $p = .001$ ); durante las subidas, la correlación fue fuerte entre el rendimiento y la  $P_{med}$  ( $R^2 = -.719$ ,  $p = .019$ ), y muy fuerte entre el rendimiento y la  $P_{rel}$  ( $R^2 = -.888$ ,  $p = .001$ ). La relación entre el rendimiento y la  $P_{med}$  durante los tramos llanos fue fuerte ( $R^2 = -.780$ ,  $p = .008$ ), y muy fuerte entre el rendimiento y la  $P_{rel}$  ( $R^2 = -.821$ ,  $p = .004$ ). Durante las bajadas no se encontró correlación entre el rendimiento y la  $P_{med}$  y se encontró una correlación moderada entre el rendimiento y la  $P_{rel}$  ( $R^2 = -.530$ ,  $p = .115$ ).

**Discusión:** Este estudio destaca la importancia de la  $P_{rel}$  como indicador del rendimiento en las competiciones de XCO-BTT.

**Conclusiones:** El gran hallazgo de este estudio ha sido que la potencia no es un buen indicador del rendimiento durante las bajadas, donde este parece determinado por aspectos técnicos de conducción.

### Palabras clave

Bicicleta todo terreno; cross country en bicicleta; potencia; potenciómetro; rendimiento

### Abstract

**Objective:** This study aimed to analyze whether power is a good indicator of performance in mountain bike (MTB) competitions, specifically in the SuperCup Cross Country Olympic (XCO) MTB in Banyoles-España.

**Methodology:** The power of 10 professional male XCO-MTB cyclists was monitored during the race, and its relationship with performance was analyzed during climbs, descents, and flat sections of the fastest lap.

**Results:** A strong correlation was found between performance and average power ( $P_{avg}$ ) ( $R^2 = -.652$ ,  $p = .041$ ), and a very strong correlation between performance and relative power ( $P_{rel}$ ) ( $R^2 = -.887$ ,  $p = .001$ ); during the uphill climbs, there was a strong correlation between performance and  $P_{avg}$  ( $R^2 = -.719$ ,  $p = .019$ ), and a very strong correlation between performance and  $P_{rel}$  ( $R^2 = -.888$ ,  $p = .001$ ). The relationship between performance and  $P_{avg}$  during flat sections was strong ( $R^2 = -.780$ ,  $p = .008$ ), and very strong between performance and  $P_{rel}$  ( $R^2 = -.821$ ,  $p = .004$ ). During the downhill descents, no correlation was found between performance and  $P_{avg}$ , and a moderate correlation was found between performance and  $P_{rel}$  ( $R^2 = -.530$ ,  $p = .115$ ).

**Discussion:** This study highlights the importance of  $P_{rel}$  as an indicator of performance in XCO-MTB competitions.

**Conclusions:** However, the significant finding of this study is that power is not a good indicator of performance during downhill descents, where performance seems to be determined by technical riding skills.

### Keywords

Mountain bike; MTB cross country; Performance; Power; Power Meter.

## Introducción

El cross country olímpico (XCO) es un deporte que consiste en realizar una carrera con bicicleta todo terreno (BTT), que comienza con una salida masiva y a continuación se dan varias vueltas (marcadas por los árbitros) en un circuito de entre 3,5 y 6 kilómetros de largo, durante un tiempo de entre 80 y 100 minutos; y finalmente gana quien llega primero a la meta (Granier et al., 2018; Union Cycliste Internationale, 2023). Los jueces determinan el número de vueltas de cada carrera en función de la duración de la vuelta, ya que el tiempo por vuelta es diferente en cada circuito. Durante los últimos 15 años, el perfil de las carreras de XCO-BTT, el nivel de los corredores y la calidad de las bicicletas ha evolucionado, obligando a la Unión Ciclista Internacional (UCI) a modificar el reglamento y, como consecuencia, se han visto modificadas las demandas a nivel condicional del deporte (Arriel et al., 2022; Granier et al., 2018).

El XCO-BTT es un deporte que se caracteriza por las variaciones de la intensidad del ejercicio, por una alta demanda de potencia (Arriel et al., 2022; Næss et al., 2021) y por su alta demanda cardiovascular (Arriel et al., 2022), ya que más del 80% del tiempo de las carreras los ciclistas se encuentran por encima del umbral del lactato (F. Impellizzeri et al., 2002). Además, aunque la frecuencia cardíaca (FC) y la potencia de las carreras son elevadas, presentan un coeficiente de variación de entre el 69 y el 75%, debido a la gran cantidad de sprints de alta intensidad que se realizan (Macdermid y Stannard, 2012; Næss et al., 2021; Prinz et al., 2021; Stapelfeldt et al., 2004). Se ha observado que, durante las carreras de XCO-BTT, los deportistas pasan hasta un 30% del tiempo por encima de la potencia máxima aeróbica, realizando alrededor de 330 sprints con una duración media de 4,3 ( $\pm$  1,1) segundos (Prinz et al., 2021). Es por este motivo que se debe dar mucha importancia a la obtención de energía a través de las vías anaeróbicas, además de tener una alta capacidad aeróbica para poder soportar la gran cantidad de sprints por encima de la potencia máxima aeróbica (Hays et al., 2021; F. M. Impellizzeri y Marcora, 2007; Prinz et al., 2021). Además, durante las carreras de XCO-BTT, se ha podido observar cómo la intensidad varía entre vueltas, ya que la primera y la segunda vuelta suelen ser las más rápidas, seguidas de las siguientes vueltas con tiempos más homogéneos (Abbiss et al., 2013).

Durante los últimos años, diversos autores han estudiado cuáles son las respuestas fisiológicas y las demandas mecánicas del XCO-BTT (Granier et al., 2018; F. Impellizzeri et al., 2002; Prinz et al., 2021). Inicialmente, autores como Impellizzeri et al. (2002) utilizaban la FC para controlar las diferentes intensidades y caracterizar el deporte. Más recientemente, autores como Prinz et al. (2021) o Granier (2018) han comenzado a utilizar la potencia para identificar las diferentes zonas de intensidad, relacionándolas con la potencia máxima aeróbica. De esta manera, se han hecho una idea del tiempo que cada ciclista pasa en cada una de las zonas de intensidad que cada autor ha preestablecido. Además, Prinz (2021) también ha separado los esfuerzos por encima del consumo máximo de oxígeno en intervalos [(de 1 a 5 segundos), (de 6 a 10 segundos), (de 11 a 15 segundos) y (más de 20 segundos)] y ha podido cuantificar la cantidad de intervalos de alta intensidad que se realizan con períodos de descanso cortos, de tal manera que los entrenadores pueden hacerse una idea más precisa de las necesidades del deporte y así poder individualizar más los entrenamientos. Además, cada vez más entrenadores monitorizan la potencia de sus ciclistas a través de los potenciómetros, ya que parece ser el mejor sistema para programar los entrenamientos, controlar la carga y saber si el rendimiento está mejorando (Bouillod et al., 2022; Hays et al., 2018). El potenciómetro es una herramienta que sirve para medir la potencia aplicada a cada pedalada mediante la relación fuerza-velocidad. El potenciómetro estándar, el más válido, preciso y más utilizado en estudios, es el que monitoriza la potencia desde el plato, llamado sistema de medición de potencia Schoberer o SRM (Bouillod et al., 2022). Los potenciómetros SRM son de los pocos que permiten medir los valores de potencia a alta intensidad y baja intensidad, ya que el rango de medición de los SRM va desde 10 hasta 2500 W. Aun así, hay muchos tipos de potenciómetros, los más comunes son los que monitorizan la potencia desde el plato, desde el pedal, desde la biela, desde el eje del pedalier y desde el eje de la rueda trasera; y muchas marcas diferentes ofrecen productos similares con cambios sustanciales (Garmin, Quarq, Rotor, 4iiii, etc.). Para obtener datos fiables del producto es necesario seguir las instrucciones del fabricante sobre la instalación del potenciómetro en la bicicleta, y además, es necesario calibrar el potenciómetro justo antes de iniciar cada entrenamiento, carrera o prueba que se quiera realizar (Bouillod et al., 2022).

El ciclismo de carretera ha capitalizado la mayor parte de atención e investigación, y la potencia ha sido muy estudiada y utilizada como indicador del rendimiento (Leo et al., 2022; Leo et al., 2023). En el XCO-

BTT, aunque falte investigación al respecto, se ha considerado la potencia de la misma forma que en el ciclismo (Aedo Muñoz et al., 2020; F. M. Impellizzeri, Rampinini, et al., 2005); sin embargo, no está claro si con los cambios que han experimentado los circuitos y el deporte en general, su validez como indicador del rendimiento se ha visto afectada. Los circuitos de XCO-BTT son cada vez más técnicos, ya que tanto las subidas como las bajadas presentan zonas con obstáculos que los ciclistas deben superar (Arriel et al., 2022). Estas zonas pueden ser naturales o artificiales, con caminos pedregosos, saltos, perrales, raíces, entre otros obstáculos que obligan a los ciclistas a tener un alto nivel de control sobre la bicicleta y donde, a priori, la potencia de pedaleo pierde relevancia (Arriel et al., 2022; Granier et al., 2018). Durante los entrenamientos, es necesario invertir una gran cantidad de tiempo en mejorar la técnica para poder superar los obstáculos más rápidamente, con el objetivo de mejorar el rendimiento (Abbiss et al., 2013; Hurst y Atkins, 2006). Las altas vibraciones que provocan las bajadas y las zonas técnicas obligan a los ciclistas a ser capaces de mantener una alta activación de la musculatura del tronco y de las extremidades superiores (Hurst et al., 2012). Además, también es necesario invertir una gran cantidad de energía para adaptarse a las altas variaciones de potencia, dirección, velocidad y cadencia que presentan las carreras de XCO-BTT (Aedo Muñoz et al., 2020; Granier et al., 2018; Hurst y Atkins, 2006).

Debido a los grandes cambios que ha habido recientemente en el mundo del XCO-BTT, el aumento de la cantidad y la dificultad de las zonas técnicas que presentan los circuitos ha supuesto que los ciclistas se vean obligados a gestionar las carreras de manera diferente, ya que deben invertir más energía en superar estos obstáculos y no solo en pedalear. Parece razonable suponer que la potencia es un buen indicador durante los tramos de subida (Antón et al., 2007; Mujika & Padilla, 2001), aunque hoy en día no hay suficientes evidencias que analicen si los cambios que ha habido en el mundo del XCO-BTT han podido afectar a la importancia de la potencia como indicador del rendimiento, especialmente durante las zonas técnicas y las bajadas (Arriel et al., 2022; Granier et al., 2018). Por eso, el objetivo principal de este estudio fue analizar si la potencia es un buen indicador del rendimiento en el XCO-BTT.

## Método

### *Diseño del estudio*

Un estudio cuantitativo analítico transversal observacional (estudio de cohorte) se diseñó para analizar si la potencia es un buen indicador del rendimiento en el XCO-BTT. El rendimiento se evaluó utilizando el tiempo de la mejor vuelta y la potencia se registró en tiempo real mediante potenciómetros instalados en las bicicletas de los corredores. Concretamente, se buscaron las relaciones que existían entre la potencia y el rendimiento en las subidas, las bajadas y los tramos llanos.

### *Participantes*

Diez ciclistas hombres profesionales ( $n = 10$ ) de XCO-BTT, que presentaban un volumen de oxígeno máximo ( $VO_{2max}$ ) superior a  $70 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y competían a nivel internacional (Arriel et al., 2022), fueron reclutados para este estudio. Las características de los ciclistas fueron las siguientes: edad: 20,4 años ( $\pm 2.1$ ); peso: 64,5 kg ( $\pm 3.5$ ); altura: 175,8 cm ( $\pm 3.6$ );  $VO_{2max}$ :  $75,8 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $\pm 3.5$ ). Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (1) tener entre 18 y 30 años, (2) participar en la carrera SuperCup BTT Hors Categorie de XCO-BTT en Banyoles-España, (3) utilizar un Garmin Edge 830 durante la carrera y (4) utilizar un potenciómetro Quarq Dzero durante la carrera. Los criterios de exclusión fueron los siguientes: (1) no terminar la carrera SuperCup BTT Hors Categorie de XCO-BTT en Banyoles-España. Antes de la recogida de los datos, todos los participantes firmaron un consentimiento informado sobre la confidencialidad de los datos para poder participar en el estudio. Los ciclistas estaban motivados, ya que todos ellos tenían programada la carrera SuperCup BTT Hors Categorie de XCO-BTT en Banyoles-España como el primer objetivo importante de la temporada.

### *Procedimiento*

Este estudio consistió en analizar los datos de potencia y rendimiento de la vuelta más rápida, las subidas, las bajadas y los tramos llanos de la SuperCup BTT Hors Categorie de XCO-BTT en Banyoles-España.



Durante la carrera, se monitorizó a los ciclistas a través de un ciclocomputador conectado con el potenciómetro Quarq Dzero (Sram, EUA) registrando constantemente los datos de potencia. Antes de comenzar la carrera, se pidió a todos los ciclistas que configuraran el ciclocomputador Garmin Edge 830 (Garmin, EUA) para que cada vez que pasaran por debajo del arco de meta, el dispositivo GPS realizara un "lap" automáticamente (Abrir configuración del Garmin Edge 830 > seleccionar "funciones automáticas" > seleccionar "auto lap" > activar "auto lap" > activar "por posición" y activar "inicio y lap"). De esta manera, se pudieron obtener los datos separados por cada una de las vueltas que realizaron. Además, todos los ciclocomputadores y los potenciómetros fueron calibrados antes de comenzar la carrera.

Los valores del potenciómetro Quarq Dzero se registraron automáticamente en el Garmin Edge 830 durante la carrera (el potenciómetro Quarq Dzero registró los datos de potencia cada segundo). Una vez finalizada la carrera, todos los participantes enviaron el archivo comprimido con "gzip" donde se encontraban todos los datos registrados. Este archivo se descargó automáticamente en la aplicación Training Peaks (TrainingPeaks, LLC, 2022). Una vez obtenidos los datos de la potencia media ( $Pot_{med}$ ) de cada vuelta y tramo que se necesitaba, se relativizaron por el peso corporal ( $Pot_{med} / masa$ ) ( $W \cdot kg^{-1}$ ) para obtener la potencia relativa ( $Pot_{rel}$ ), con el fin de hacer más justa la comparación y eliminar el sesgo que podrían representar las diferencias individuales de masa corporal.

Para asegurar un análisis al máximo de neutral y objetivo, los datos fueron recogidos por G. M., procesados por S.N., analizados por C.B. y finalmente se volvió a analizar conjuntamente por los tres autores.

### *Instrumento*

Durante la carrera, todo el material de los ciclistas era propio. Todos los participantes debían llevar su bicicleta, el Garmin Edge 830 y el potenciómetro Quarq Dzero. El Garmin Edge 830 es un ciclocomputador con un sistema de posicionamiento global (GPS) que sirve para competir, entrenar y navegar, a través del cual los participantes registraron el tiempo de las diferentes vueltas y el tiempo de las subidas, las bajadas y los tramos llanos. El potenciómetro Quarq Dzero es una herramienta que sirve para medir la potencia aplicada en cada pedalada mediante la relación fuerza-velocidad. Este potenciómetro es del tipo SRM y tiene una precisión entre las dos bielas de  $\pm 1,5\%$ .

Todos los datos de este estudio se obtuvieron a través de la aplicación Training Peaks y se descargaron para su tratamiento en formato hoja de cálculo. Training Peaks es una plataforma de entrenamientos especializada en ciclismo, que sirve para realizar análisis y seguimientos de los entrenamientos de diferentes atletas; en este caso, de los 10 ciclistas que participaron en la SuperCup BTT Hors Categoríe en Banyoles-España.

### *SuperCup Btt Hors Categoríe*

La SuperCup BTT Hors Categoríe, que se llevó a cabo en Banyoles-España el 26 de febrero de 2023, es una de las carreras del campeonato Shimano SuperCup Massi, que consta de un total de 6 carreras. Además, es la única carrera Hors Categoríe del campeonato. Su importancia radica en que solo hay un campeonato que otorga más puntos UCI a los corredores que las carreras Hors Categoríe, que es la Copa del Mundo. La carrera consistió en realizar una "start lap" (1,3 km y 22 metros de desnivel) y seis vueltas en un circuito de 4,8 km, con un desnivel de 102 metros por vuelta, haciendo un total de 30,10 km y 634 metros de desnivel. Cada vuelta constaba de un total de tres tramos de subida, tres tramos de bajada y tres tramos llanos, junto con una gran cantidad de cambios de dirección y obstáculos que los ciclistas debían superar. Durante el circuito había varios tramos técnicos, pero los dos tramos más técnicos eran la segunda bajada de la vuelta y los primeros 150 metros de la tercera subida. Incluso, hubo ciclistas que optaron por bajar de la bicicleta y correr para poder subir más rápidamente.

### ***Variables a analizar***

En este estudio se realizó un análisis de la potencia y el rendimiento en el XCO-BTT. Las variables que describieron el rendimiento fueron las siguientes:

- Tiempo de la vuelta más rápida (variable cuantitativa continua).
- Tiempo de las subidas, bajadas y tramos llanos de la vuelta más rápida (variables cuantitativas continuas).

Por otro lado, de la potencia se tuvieron en cuenta las siguientes variables:



- $Pot_{med}$  de la vuelta más rápida (variable cuantitativa continua) y de esa misma vuelta las subidas, bajadas y tramos llanos (variables cuantitativas continuas).
- $Pot_{rel}$  de la vuelta más rápida (variable cuantitativa continua) y de esa misma vuelta las subidas, bajadas y tramos llanos (variables cuantitativas continuas).

Se decidió utilizar la vuelta más rápida de los corredores, ya que, entre el total de las vueltas, la más rápida representaba el mejor rendimiento de todas (Næss et al., 2021). De esta manera, si algún ciclista tenía algún problema mecánico, un accidente o algún impedimento que no le permitiera rendir al máximo, esto no afectaba los resultados del estudio, tal como se ha descrito previamente (Næss et al., 2021)

Para diferenciar las subidas, bajadas y los llanos, se utilizaron los siguientes criterios:

- Subida: Se consideró un tramo como subida si presentaba más de un 0,2% de desnivel positivo. Esto significa que cada kilómetro del tramo ascendía más de 2 metros de desnivel. Además, el tramo debía tener una distancia lineal mínima de 100 metros.
- Bajada: Se consideró un tramo como bajada si presentaba menos de un -0,2% de desnivel negativo. Esto implica que cada kilómetro del tramo descendía más de 2 metros de desnivel. Además, el tramo debía tener una distancia lineal mínima de 100 metros.
- Llano: se consideraba llano si presentaba un desnivel entre -0,2% y 0,2%.de desnivel. Esto significa que cada kilómetro del tramo no ascendía ni descendía más de 2 metros de desnivel. Además, el tramo debía tener una distancia lineal mínima de 100 metros para ser clasificado como llano.

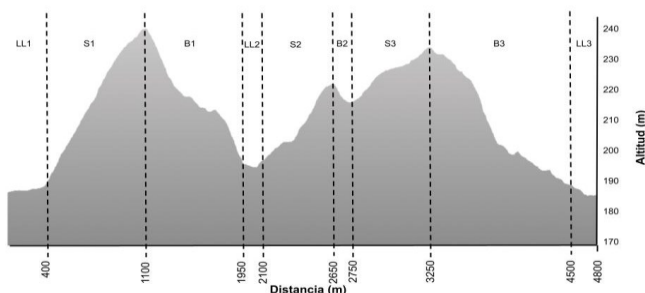
Por otra parte, se definieron un total de tres subidas, tres bajadas y tres llanos (tabla 1). El perfil del recorrido se muestra en la Figura 1.

Tabla 1. Distancia y desnivel de los diferentes tramos de la vuelta.

Tramo (m)	Distancia (m)	Desnivel positivo (m)	Desnivel negativo (m)	% del desnivel
LL1	0 - 400	400	1	0,2
S1	400 - 1100	700	0	7,3
B1	1100 - 1950	850	-49	-5,8
LL2	1950 - 2100	150	0	0
S2	2100 - 2650	550	0	5,1
B2	2650 - 2750	100	-6	-6
S3	2750 - 3250	500	0	4,4
B2	3250 - 4500	1250	-46	-3,7
LL3	4500 - 4800	300	-1	-0,2
Total	4800	102	-102	

Nota. LL = Llano; B = Bajada; S = Subida.

Figura 1. Perfil de la vuelta.



Nota: Figura que muestra el desnivel y los diferentes tramos de la vuelta. Subidas (S): 1a: (400m - 1100m)// 2a: (2100m - 2650m)// 3a: (2750m - 3350m). Bajadas (B): 1a: (1100m - 1950m)// 2a: (2650m - 2750m)// 3a: (3350m - 4500m). Llanos (LL): 1º: (0m - 400m)// 2º (1950m - 2100m)// 3º (4500m - 4800m).

## Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó utilizando el software PASW Statistics 25 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EUA). El nivel de significación se estableció en  $p < .05$ . Los datos descriptivos se presentan como medias  $\pm$  desviación estándar. La distribución normal de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk para muestras inferiores a 30 personas. Los datos fueron analizados mediante una correlación de Pearson, utilizando las variables cuantitativas de potencia y tiempo. Para facilitar la interpretación de los



datos se establecieron diferentes umbrales de correlación: 0.40-0.59, moderada; 0.60-0.79, fuerte; 0.80-1, muy fuerte (Flores-Ruiz et al., 2017; Nuell et al., 2021).

## Resultados

En la tabla 2 se presentan los valores descriptivos de los datos de potencia y rendimiento de los 10 ciclistas. La vuelta más rápida de 9 de los ciclistas fue la primera, mientras que el otro ciclista logró el mejor tiempo durante la última vuelta.

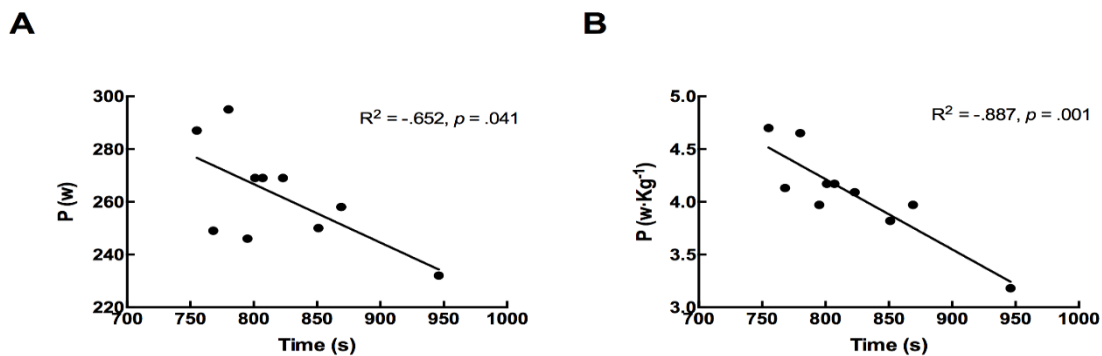
Se encontró una correlación fuerte entre el rendimiento de la vuelta más rápida y la  $Pot_{med}$  ( $R^2 = -.652$ ,  $p = .041$ ), y muy fuerte entre la vuelta más rápida y la  $Pot_{rel}$  ( $R^2 = -.887$ ,  $p = .001$ ) (Figura 2). En cuanto a las subidas, se encontró una correlación fuerte entre el rendimiento y la  $Pot_{med}$  ( $R^2 = -.719$ ,  $p = .019$ ), y muy fuerte entre el rendimiento y la  $Pot_{rel}$  ( $R^2 = -.888$ ,  $p = .001$ ) (Figura 3). La relación entre el rendimiento y la  $Pot_{med}$  durante los tramos llanos fue fuerte ( $R^2 = -.780$ ,  $p = .008$ ), y muy fuerte entre el rendimiento y la  $Pot_{rel}$  ( $R^2 = -.821$ ,  $p = .004$ ) (Figura 4). Durante las bajadas no se encontró correlación entre el rendimiento y la  $Pot_{med}$  ( $R^2 = -.289$ ,  $p = .417$ ), y se encontró una correlación moderada entre el rendimiento y la  $Pot_{rel}$  ( $R^2 = -.530$ ,  $p = .115$ ) (Figura 5).

Tabla 2. Potencia y rendimiento de la vuelta más rápida y de las subidas, las bajadas y los llanos de la vuelta más rápida.

	Vuelta más rápida	Subida	Bajada	Llano
$Pot_{med}$ (W)	262,40 ± 19,28	312,23 ± 29,90	147,50 ± 21,57	315,60 ± 26,50
$Pot_{rel}$ (W/Kg)	4,08 ± 0,43	4,86 ± 0,61	2,30 ± 0,38	4,91 ± 0,53
Rendimiento (s)	819,50 ± 56,69	352,8 ± 30,91	344 ± 22,55	125,3 ± 9,25

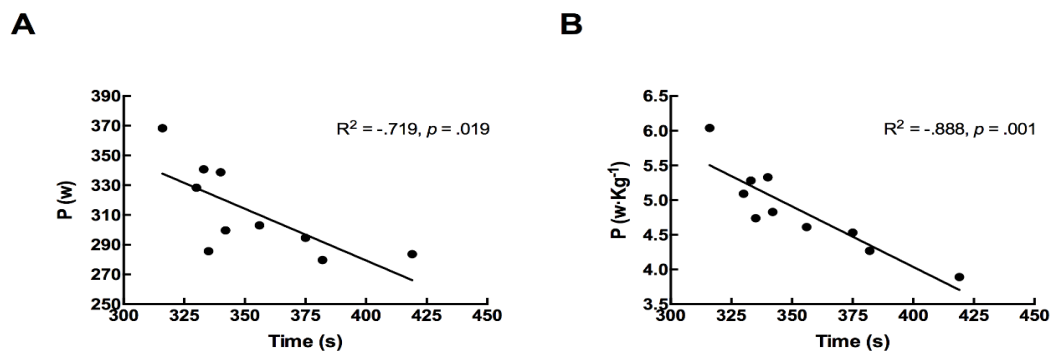
Nota. Los datos que se muestran son la media y DE de los 10 ciclistas.  $Pot_{med}$  = Potencia media;  $Pot_{rel}$  = Potencia relativa al peso corporal.

Figura 2. Relación potencia y rendimiento de la vuelta rápida.



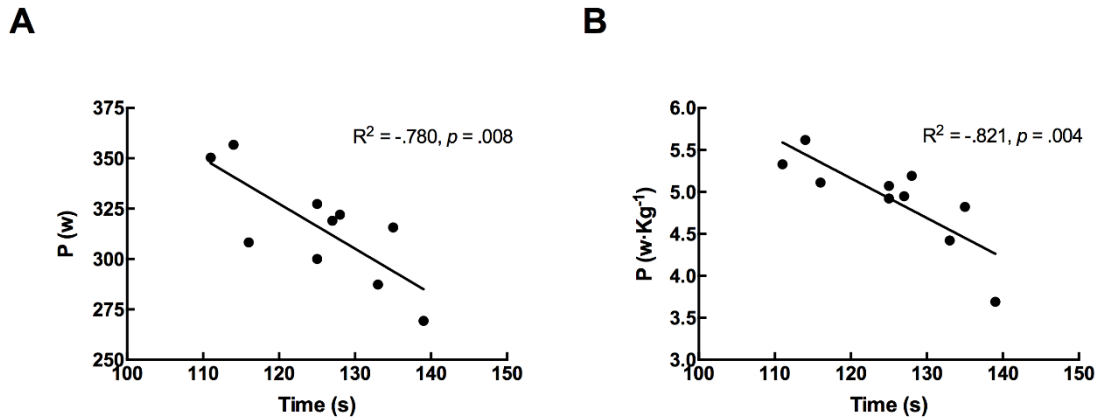
Nota: A) Gráfica de dispersión de los valores de  $Pot_{med}$  de la vuelta más rápida y el tiempo en segundos. B) Gráfica de dispersión de los valores de  $Pot_{rel}$  de la vuelta más rápida y el tiempo en segundos.

Figura 3. Relación potencia y rendimiento de las subidas.



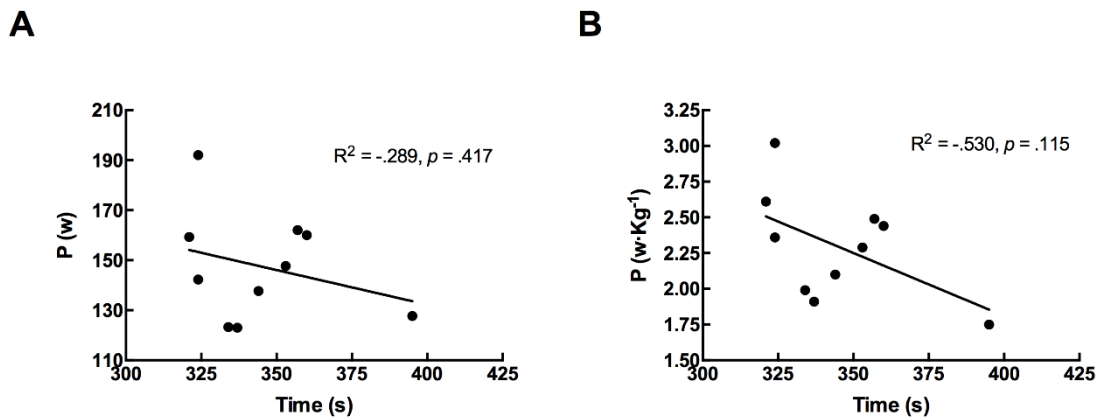
Nota: A) Gráfica de dispersión de los valores  $Pot_{med}$  de las subidas y el tiempo en segundos. B) Gráfica de dispersión de los valores de  $Pot_{rel}$  de las subidas y el tiempo en segundos.

Figura 4. Relación potencia y rendimiento de los tramos llanos.



Nota: A) Gráfica de dispersión de los valores de  $Pot_{med}$  de los llanos y el tiempo en segundos. B) Gráfica de dispersión de los valores de  $Pot_{rel}$  de los llanos y el tiempo en segundos.

Figura 5. Relación potencia y rendimiento de las bajadas.



Nota: A) Gráfica de dispersión de los valores de  $Pot_{med}$  de las bajadas y el tiempo en segundos. B) Gráfica de dispersión de los valores de  $Pot_{rel}$  de las bajadas y el tiempo en segundos.

## Discusión

El objetivo de este estudio fue analizar si la potencia es un buen indicador del rendimiento en el XCO-BTT. Los principales hallazgos son los siguientes: (1) En general, la  $Pot_{rel}$  parece ser un mejor indicador del rendimiento que la  $Pot_{med}$  en las carreras de XCO-BTT, (2) tanto la  $Pot_{med}$  como la  $Pot_{rel}$  parecen ser buenos indicadores del rendimiento tanto en las subidas como en los tramos llanos, y (3) ni la  $Pot_{med}$  ni la  $Pot_{rel}$  son buenos indicadores del rendimiento en las bajadas.

Este estudio ha sido el primero en investigar si la  $Pot_{med}$  y la  $Pot_{rel}$  son buenos indicadores del rendimiento en el XCO-BTT, teniendo en cuenta el aumento en la complejidad técnica de los circuitos en esta modalidad. Los hallazgos de este estudio parecen estar alineados con estudios previos (Arriél et al., 2020, 2022; Fernández Rodríguez et al., 2021; F. M. Impellizzeri, Marcora, et al., 2005; F. M. Impellizzeri y Marcora, 2007; Lee et al., 2002), mostrando que durante las carreras de XCO-BTT, una buena relación potencia-peso es crucial para maximizar el rendimiento, especialmente durante las subidas (Figura 3).

Los factores que históricamente han determinado el rendimiento en el XCO-BTT incluyen la composición corporal, la capacidad cardiovascular, la potencia y la fuerza (Bejder et al., 2019). Sin embargo, los ciclistas que invierten más energía durante las bajadas no son necesariamente los que completan estos tramos más rápidamente, lo que significa que una potencia más alta no está directamente relacionada con superar más rápidamente las zonas técnicas (Figura 5). Hurst y Atkins (2006) observaron que la

potencia no es un buen indicador del rendimiento durante las competiciones de descenso en BTT, enfatizando la importancia de tener un buen control sobre la bicicleta como factor principal de rendimiento. En la misma línea, Arriel y colaboradores, en una revisión reciente sobre XCO-BTT (Arriel et al., 2022), describen la evolución del deporte y destacan la importancia actual de las zonas técnicas y las bajadas, así como la influencia que tienen en el rendimiento. Por este motivo, se puede considerar que la habilidad para superar de manera eficiente las zonas técnicas y las bajadas es otra variable importante para el rendimiento en las carreras de XCO-BTT en la actualidad. Además, el XCO-BTT actual cuenta con una amplia variedad de bicicletas diseñadas específicamente para cada tipo de circuito. Por ejemplo, utilizar una bicicleta con doble suspensión en circuitos con muchas zonas técnicas puede mejorar significativamente el rendimiento del ciclista (Nishii et al., 2004). Por esta razón, los ciclistas siempre evalúan el recorrido y, en función de la dificultad y el número de zonas técnicas presentes, eligen qué tipo de bicicleta usarán durante la carrera.

El ciclismo es un deporte que presenta tres fuerzas principales contra las cuales los ciclistas tienen que luchar (Glaskin, 2013). Estas fuerzas son la gravedad, la resistencia del aire y la fricción con el suelo (Glaskin, 2013). Además, la fuerza de la gravedad guarda una relación directamente proporcional con el porcentaje de desnivel (Glaskin, 2013; Wilson y Schmidt, 2020). Sin embargo, en los tramos llanos, el peso penaliza menos que en las subidas, dado que la gravedad tiene un efecto mucho menor en el avance del ciclista y la bicicleta, por lo que la masa corporal no influye directamente en el rendimiento. En este sentido, como se observó en este estudio, la  $Pot_{med}$  mostró correlaciones más fuertes en los tramos llanos (Figura 4) que en las bajadas (Figura 5). Por lo tanto, el mejor enfoque para superar eficazmente los tramos llanos es ejercer la máxima potencia absoluta posible y al mismo tiempo adoptar una posición aerodinámica que permita al ciclista vencer las fuerzas de resistencia del aire (Glaskin, 2013). No obstante, parece que se requiere más investigación para extraer conclusiones más sólidas sobre los determinantes del rendimiento durante los tramos llanos de las carreras de XCO-BTT.

En este estudio se ha observado que la primera vuelta suele ser la más rápida, corroborando hallazgos previos donde se demuestra que la mayoría de los ciclistas tienden a realizar una salida explosiva para posicionarse lo más adelante posible, para luego mantener ritmos más constantes durante las vueltas (Abbiss et al., 2013; Granier et al., 2018; Næss et al., 2021). La  $Pot_{med}$  puede disminuir hasta un 25% (Næss et al., 2021) entre la primera vuelta y la última en ciclistas experimentados; sin embargo, el número y la magnitud de los sprints parecen coincidir en cada vuelta (Næss et al., 2021). No obstante, no todos los ciclistas adoptan la misma estrategia, ya que uno de los ciclistas del estudio registró la vuelta más rápida durante la sexta vuelta, mostrando una tendencia de ir de menos a más. Aun así, la mayoría de los ciclistas, tanto profesionales como amateurs, tienden a utilizar la estrategia de ir de más a menos (Viana et al., 2018).

Las limitaciones que se derivan de este estudio son que el tamaño de la muestra fue pequeño, pero es importante recordar que, en estudios de alto rendimiento deportivo, generalmente la disponibilidad de muestra es limitada. Un tamaño muestral permitiría estratificar los resultados por sexo y grupos de edad en el contexto específico del XCO-BTT y facilitaría llegar a conclusiones más sólidas. Además, en futuros trabajos sería recomendable diferenciar entre zonas técnicas y no técnicas de los diferentes segmentos (subidas, llanos y bajadas). De esta manera se podría analizar la relevancia de la potencia dentro de cada segmento en función de la dificultad de la zona, y así aumentar el conocimiento sobre los determinantes del rendimiento en el XCO-BTT.

## Conclusiones

Las conclusiones principales de este estudio son las siguientes: (1) en general, la potencia es un buen indicador del rendimiento en el XCO-BTT, y (2) la  $Pot_{rel}$  es un mejor indicador del rendimiento que la  $Pot_{med}$  en las subidas y los tramos llanos. Los autores de este estudio consideran que a partir de ahora la  $Pot_{rel}$  debería utilizarse como principal indicador del rendimiento en el XCO-BTT. Finalmente, el hallazgo más significativo de este estudio ha sido que (3) la potencia no es un buen indicador del rendimiento durante las bajadas, donde este está determinado por aspectos técnicos de conducción.



## Agradecimientos

Los autores de este trabajo quieren agradecer la participación en este estudio a todos los ciclistas profesionales que de manera desinteresada aceptaron ceder sus datos para poder realizar este estudio.

## Referencias

- 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>
- Aedo Muñoz, E., Rötger Guarda, A., Ria Gamboa, I., Rodríguez Zárata, N., Rojas Reyes, C., Aedo Muñoz, N., Valenzuela Pérez, D., Arriagada Tarifeño, D., Argothy, R., Sepulveda Salazar, J., Miarka, B., & Brito, C. J. (2020). Variaciones cinemáticas de ascenso en los ciclistas de montaña. *Retos*, *40*, 257-263. <https://doi.org/10.47197/retos.v1i40.81430>
- Antón, M. M., Izquierdo, M., Ibáñez, J., Asiain, X., Mendiguchía, J., & Gorostiaga, E. M. (2007). Flat and uphill climb time trial performance prediction in elite amateur cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, *28*(4), 306-313. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924356>
- Arriel, R. A., Graudo, J. A., Oliveira, J. L. D. D., Ribeiro, G. G. S., Meireles, A., & Marocolo, M. (2020). The relative peak power output of amateur mountain bikers is inversely correlated with body fat but not with fat-free mass. *Motriz: Revista de Educação Física*, *26*(3), e10200034. <https://doi.org/10.1590/s1980-6574202000030034>
- Arriel, R. A., Souza, H. L. R., Sasaki, J. E., & Marocolo, M. (2022). Current Perspectives of Cross-Country Mountain Biking: Physiological and Mechanical Aspects, Evolution of Bikes, Accidents and Injuries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(19), 12552. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912552>
- Bejder, J., Bonne, T. C., Nyberg, M., Sjøberg, K. A., & Nordsborg, N. B. (2019). Physiological determinants of elite mountain bike cross-country Olympic performance. *Journal of Sports Sciences*, *37*(10), 1154-1161. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1546546>
- Bouillod, A., Soto-Romero, G., Grappe, F., Bertucci, W., Brunet, E., & Cassirame, J. (2022). Caveats and Recommendations to Assess the Validity and Reliability of Cycling Power Meters: A Systematic Scoping Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *22*(1), 386. <https://doi.org/10.3390/s22010386>
- Fernández Rodríguez, L., Olaya Cuartero, J., & Martínez-Sanz, J. M. (2021). Planificación dietético-nutricional para una prueba de mountain bike de XCO: Estudio de caso (Nutritional planning for an XCO mountain bike event: Case study). *Retos*, *44*, 209-220. <https://doi.org/10.47197/retos.v44i0.88884>
- Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. G., Villasís-Keever, M. Á., Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. G., & Villasís-Keever, M. Á. (2017). El protocolo de investigación VI: Cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista alergia México*, *64*(3), 364-370. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>
- Glaskin, M. (2013). *Cycling Science: How Rider and Machine Work Together*. IVY PRESS. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226921877.001.0001>
- Granier, C., Abbiss, C. R., Aubry, A., Vauchez, Y., Dorel, S., Hauswirth, C., & Meur, Y. L. (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/ijsp.2017-0516>
- Hays, A., Devys, S., Bertin, D., Marquet, L., & Brisswalter, J. (2018). Understanding the Physiological Requirements of the Mountain Bike Cross-Country Olympic Race Format. *Frontiers in Physiology*, *9*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2018.01062>
- Hays, A., Nicol, C., Bertin, D., Hardouin, R., & Brisswalter, J. (2021). Physiological and Mechanical Indices Serving the New Cross-Country Olympic Mountain Bike Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(7), 1008-1013. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0319>
- Hurst, H. T., & Atkins, S. (2006). Power output of field-based downhill mountain biking. *Journal of Sports Sciences*, *24*(10), 1047-1053. <https://doi.org/10.1080/02640410500431997>



- Mujika, I., & Padilla, S. (2001). Physiological and Performance Characteristics of Male Professional Road Cyclists. *Sports Medicine*, 31(7), 479-487. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131070-00003>
- Hurst, H. T., Swarén, M., Hébert-Losier, K., Ericsson, F., Sinclair, J. K., Atkins, S., & Holmberg, H.-C. (2012). Influence of Course Type on Upper Body Muscle Activity in Elite Cross-Country and Downhill Mountain Bikers During Off Road Downhill Cycling. *Journal of Science and Cycling*, 1(2), Article 2 <https://jsc-journal.com/index.php/JSC/article/view/20>
- 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>
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Rampinini, E., Mognoni, P., & Sassi, A. (2005). Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *British Journal of Sports Medicine*, 39(10), 747-751. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2004.017236>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Sassi, A., Mognoni, P., & Marcora, S. (2005). Physiological correlates to off-road cycling performance. *Journal of Sports Sciences*, 23(1), 41-47. <https://doi.org/10.1080/02640410410001730061>
- Impellizzeri, F., Sassi, A., Rodriguez-Alonso, M., Mognoni, P., & Marcora, S. (2002). Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Medicine and science in sports and exercise*, 34, 1808-1813. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000036690.39627.F7>
- 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>
- Leo, P., Spragg, J., Podlogar, T., Lawley, J. S., & Mujika, I. (2022). Power profiling and the power-duration relationship in cycling: A narrative review. *European Journal of Applied Physiology*, 122(2), 301-316. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04833-y>
- Leo, P., Spragg, J., Wakefield, J., & Swart, J. (2023). Predictors of cycling performance success: Traditional approaches and a novel method to assess performance capacity in U23 road cyclists. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 26(1). <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2022.11.005>
- Macdermid, P. W., & Stannard, S. (2012). Mechanical work and physiological responses to simulated cross country mountain bike racing. *Journal of Sports Sciences*, 30(14), 1491-1501. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.711487>
- Næss, S., Sollie, O., Gløersen, Ø. N., & Losnegard, T. (2021). Exercise Intensity and Pacing Pattern During a Cross-Country Olympic Mountain Bike Race. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2021.702415>
- Nishii, T., Umemura, Y., & Kitagawa, K. (2004). Full suspension mountain bike improves off-road cycling performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44(4), 356-360.
- Nuell, S., Illera-Dominguez, V., Carmona, G., Macadam, P., Lloret, M., Padullés, J. M., ... & Cadefau, J. A. (2021). Hamstring muscle volume as an indicator of sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(4), 902-909. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003976>
- Prinz, B., Simon, D., Tschan, H., & Nimmerichter, A. (2021). Aerobic and Anaerobic Power Distribution During Cross-Country Mountain Bike Racing. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(11), 1610-1615. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0758>
- Stapelheldt, B., Schwirtz, A., Schumacher, Y. O., & Hillebrecht, M. (2004). Workload Demands in Mountain Bike Racing. *International Journal of Sports Medicine*, 25(4), 294-300. <https://doi.org/10.1055/s-2004-819937>
- Union Cycliste Internationale. (2023, febrer 21). Regulations: Mountain Bike. UCI. <https://www.uci.org/regulations/3MyLDDrwJCJJ0BGGOFzOat>
- Viana, B. F., Pires, F. O., Inoue, A., & Santos, T. M. (2018). Pacing Strategy During Simulated Mountain Bike Racing. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 208-213. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0692>
- Wilson, D. G., & Schmidt, T. (2020). *Bicycling Science*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11660.001.0001>



## Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Genís Martí Casado  
Sergi Nuell Turon  
Cristina Bárcena Saludes  
Genís Martí Casado

gmarticasado@gmail.com  
snuel@euses.cat  
cris.barcena10@gmail.com  
gmarticasado@gmail.com

Autor/a  
Autor/a  
Autor/a  
Traductor/a