

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2022/2023

INFLUENCIA DEL TIPO DE PEDAL PLANO Y AUTOMÁTICO EN EL
RENDIMIENTO FÍSICO DEL CICLISTA (SPRINT VS.
CONTRARRELOJ) EN DIFERENTES TERRENOS (LLANO VS.
SUBIDA): UN ESTUDIO PRELIMINAR.

Influence of flat and clipless pedal type on the physical performance in
cyclists (Sprint vs. Time trial) on different terrains (Flat vs. Uphill): A
preliminary study.

Autor/a: Héctor Pascual Redondo

Tutor/a: Juan García López

Cotutor/a: Alba Herrero Molleda

Fecha: 7 de Julio de 2023

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo son evaluar el efecto del tipo de pedal (plano vs. automático), en el rendimiento en ciclismo de carretera, y cómo influye el tipo de pedal en función del tipo de prueba (sprint vs. contrarreloj individual) y el tipo de terreno (llano vs. subida). 4 participantes entrenados realizaron varias pruebas de sprint supramáximas de 15" en llano y en subida con pedales planos y automáticos, así como varias pruebas de contrarreloj individual máximas de 4' en las mismas condiciones mientras se registraban las principales variables de rendimiento (potencia, cadencia, velocidad, frecuencia cardíaca, y RPE). Los principales hallazgos del estudio fueron: a) la mejora del rendimiento con los pedales automáticos respecto a los pedales planos (la potencia media aumentó un 22.4%), b) una mayor mejora del rendimiento que las registradas en estudios previos (87.3% en pruebas de sprint e 100.3% en pruebas de resistencia), c) una mayor mejora en las pruebas de sprint respecto a contrarreloj (34.1% y 10.8%, respectivamente) , y d) una mayor mejora en terreno llano respecto de subida (24.3% y % 20.6% respectivamente). Este aumento del rendimiento parece justificado por la capacidad para pedalear con mayor cadencia, por aprovechar la inercia del movimiento (sobre todo en sprint), y por un mayor aprovechamiento de la fuerza de los flexores de rodilla y cadera fundamentalmente en el upstroke. Sin embargo, son necesarios futuros estudios que incluyan un mayor número de participantes y que analicen la aplicación de fuerzas durante el pedaleo.

Palabras clave: ciclismo, pedal, rendimiento, potencia, biomecánica.

ABSTRACT

The purposes of this study are to determine the effect of the type of pedal (flat vs. clipless) on performance in road cycling, as well as how it is influenced by the type of test (sprint vs. time trial) and the type of terrain (flat vs. uphill). 4 participants experienced some 15" supramaximal sprint tests on flat and uphill terrains with both flat and clipless pedals, as well as several 4' maximal individual time trials in same conditions while the main performance variables (power, cadence, speed, heart rate and RPE) were measured. The main results of the study were: a) The improvement of cycling performance with clipless pedals compared to flat pedals (average power increased by 22.4%), b) a greater performance improvement than in previous studies (87, 3% in sprint tests and 100.3% in endurance tests), c) greater improvement in sprint tests compared to time trials (34.1% and 10.8%, respectively), and d) a greater improvement on flat terrain compared to uphill (24.3% and % 20.6% respectively). This increase in performance seems to be justified by the ability to pedal with a higher cadence, by taking advantage of the inertia of the movement (especially in sprint), and by been able to involve both hip and knee flexors during mainly the upstroke phase. However, more studies are needed with a larger number of participants that analyse more accurately the application of forces during pedalling.

Key Words: cycling, pedal, performance, power output, biomechanics.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. EVOLUCIÓN DE LA PRÁCTICA DE CICLISMO	1
1.2. FACTORES QUE AFECTAN AL RENDIMIENTO EN CICLISMO.....	2
1.3. FACTORES BIOMECÁNICOS: El ajuste de la bicicleta	3
1.4. AJUSTE DEL PIE AL PEDAL	6
2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS	11
3. METODOLOGÍA.....	12
3.1. Participantes	12
3.2. Procedimiento	13
3.3. Pruebas de sprint.....	15
3.4. Pruebas de contrarreloj.....	15
3.5. Análisis de datos.....	16
4. RESULTADOS.....	17
5. DISCUSIÓN	20
6. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS	23
7. BIBLIOGRAFÍA	25
8. ANEXOS	30
ANEXO 1.....	30
ANEXO 2.....	31
ANEXO 3.....	32
ANEXO 4.....	33

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EVOLUCIÓN DE LA PRÁCTICA DE CICLISMO

El ciclismo es una de las actividades físicas más practicadas en todo el mundo. Como podemos observar en el estudio realizado por Ipsos Global Advisor (2021) en el que se analiza la práctica deportiva mundial, se establece el ciclismo como la tercera actividad deportiva más practicada por los ciudadanos a lo largo de la semana (13%), solamente por detrás del “running” (19%) y el “fitness” (20%). Esta estadística concuerda con los resultados de la encuesta de hábitos deportivos realizada en España por el Consejo Superior de Deportes (CSD) en 2020 (CSD-Consejo Superior de Deportes, 2020), en la que el ciclismo se establece como la segunda modalidad deportiva más practicada (31.3%), solamente por detrás de la gimnasia suave (48%). De igual forma, se ha detectado que la práctica de ciclismo en nuestro país ha seguido una tendencia alcista a lo largo de los últimos 15 años. Así, el porcentaje de ciudadanos españoles que practicaron ciclismo respecto del total de practicantes de deporte fue, del 19.1% en 2005, frente al 31.3% en (CSD-Consejo Superior de Deportes, 2010; CSD-consejo Superior de Deportes, 2020) (Figura 1).

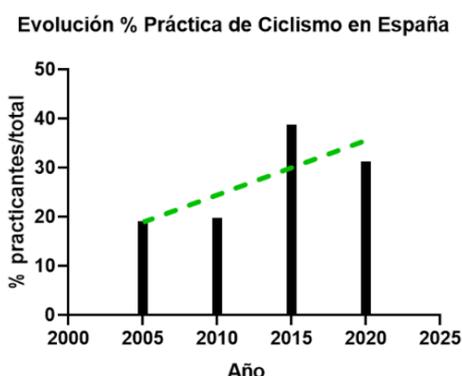


Figura 1.- Evolución de la práctica de ciclismo en España en los años 2005 a 2020 (Elaboración propia)

Otro indicador que justifica la tendencia creciente que sigue el ciclismo es la venta anual de bicicletas. En 2021 la venta anual de bicicletas en España aumentó en más de un 42% respecto de 2015 (Asociación de Marcas y Bicicletas de España, 2022). Es destacable que en este estudio no sólo se ha detectado un aumento en la compra de bicicletas, que tan solo supone un 46% del gasto en “ciclismo”, sino que también se ha incrementado el gasto en la compra de componentes, cascos, electrónica, textil y calzado específico... que suponen el 56% restante. La compra de este tipo de material confirma que la popularización del ciclismo va más allá del uso de la bicicleta como un simple medio de transporte, convirtiéndose en una Actividad física recreativa y deportiva (Seo et al., 2016).

Finalmente, respecto a la práctica de ciclismo competitivo, es necesario destacar que el número de licencias expedidas por la Real Federación Española de Ciclismo también ha aumentado progresivamente en las últimas décadas, alcanzando su máximo histórico en 2021, cuando se tramitaron 77.972 licencias federativas (CSD-Consejo Superior de Deportes, 2021). Si las comparamos con las 31.504 (CSD-Consejo Superior de Deportes, 2021) que se expidieron en 2001, supone un incremento de un 147% (Figura 2). Este incremento en el número de licencias ratifica la hipótesis de que el interés por el ámbito deportivo y competitivo del ciclismo es cada vez mayor.

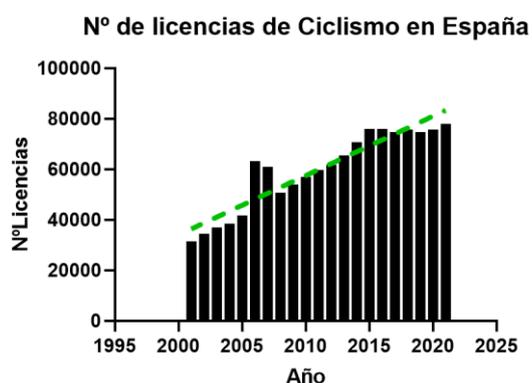


Figura 2.- Evolución del Número de licencias expedidas por la Real Federación Española de Ciclismo en los últimos años. (Elaboración propia)

1.2. FACTORES QUE AFECTAN AL RENDIMIENTO EN CICLISMO

El citado aumento del interés de los ciudadanos por el uso de la bicicleta conlleva un avance de la investigación en este campo por parte de la comunidad científica y las empresas del sector, que estudian cómo afectan ciertos factores al rendimiento deportivo y a la salud de los ciclistas (Ferrer-Roca, 2017). Para ello, es necesario generar conocimiento entorno a multitud de las ciencias que esta actividad implica, como la fisiología, la mecánica, o la biomecánica. En esta línea, en los últimos años diversos autores han realizado diferentes clasificaciones sobre los principales factores de rendimiento en ciclismo. Una de las más recientes es la de Ferrer-Roca (2017), en la que diferencia 6 bloques principales: Factores fisiológicos, medioambientales, psicológicos, derivados del entrenamiento, nutricionales, y biomecánicos (Figura 3).

Los factores fisiológicos son uno de los aspectos más estudiados en el ciclismo de ruta a lo largo de los años y se refieren a los factores internos del organismo del ciclista que limitan su rendimiento, como el consumo máximo de oxígeno, la intensidad y eficiencia del pedaleo, o la propia fatiga. Por otro lado, los factores medioambientales son aquellos externos al ciclista, como la temperatura, el viento, la humedad y la pendiente del terreno, que pueden

modificar y afectar de manera diferente a cada individuo. Los factores psicológicos afectan a la activación y percepción del esfuerzo del ciclista, y pueden influir directamente en los factores de rendimiento fisiológicos. Por su parte, los factores derivados del entrenamiento se refieren a los efectos que el entrenamiento tiene en la capacidad del ciclista para mantener o realizar un determinado esfuerzo, y/o en las capacidades físicas básicas, como la resistencia o la fuerza tras la ejecución de un entrenamiento planificado, repetido y sistemático. Los factores nutricionales también son esenciales para todo deportista, y se refieren a los ajustes en la dieta que deben hacerse para maximizar el rendimiento en función del gasto calórico y los requerimientos individuales (Ferrer-Roca, 2017). Para terminar, en el siguiente apartado se explicarán de forma más detallada los factores biomecánicos que afectan al rendimiento del ciclista.

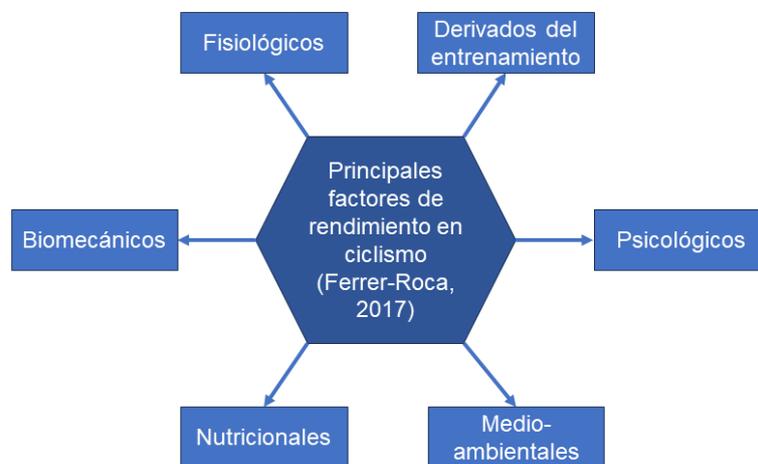


Figura 3.- Esquema de los factores de rendimiento en ciclismo según la clasificación de Ferrer-Roca (2017). (Elaboración propia)

1.3. FACTORES BIOMECÁNICOS: El ajuste de la bicicleta

La definición de biomecánica es muy compleja y todavía no ha sido consensuada. Existen numerosas definiciones, aunque de forma sencilla podemos definirla como “una disciplina que utiliza los principios y métodos de la mecánica para el estudio de los seres vivos, teniendo en cuenta sus peculiaridades” (Izquierdo y Arteaga, 2008, p.2). Para ello, la biomecánica ha de estudiar tanto el movimiento de los cuerpos, como la ausencia del mismo (*i.e.*, equilibrio), a partir del análisis de las fuerzas que lo provocan (Izquierdo y Arteaga, 2008). Debido al gran abanico de posibilidades que ofrece el estudio de la biomecánica, se pueden definir diferentes campos de estudio dentro de la misma. Izquierdo y Arteaga (2008) definen 3 campos con diferentes objetivos e intereses: biomecánica médica, biomecánica ocupacional y biomecánica de la actividad física y deportiva.

Los principales objetivos de la biomecánica deportiva son la mejora del rendimiento deportivo y la prevención y rehabilitación de lesiones. El aumento del rendimiento se conseguirá a través de herramientas como la mejora de la técnica específica de cada deporte, la innovación en el material deportivo, o la mejora del entrenamiento, mientras que la prevención de lesiones se conseguirá a través de la búsqueda de patrones técnicos no lesivos, o el diseño de equipamiento deportivo que reduzca las posibilidades de sufrir lesiones (McGinnis, 2013).

Un parámetro muy importante que afecta tanto al rendimiento como a la prevención de lesiones es el confort. Lucas-Cuevas y Pérez-Soriano (2018) definen la percepción del confort como aquel “fenómeno mental y físico que desemboca en un estado de bienestar, considerado bienestar como un estado de ausencia de incomodidad o dolor” (Lucas-Cuevas y Pérez-Soriano, 2018, p.35). Esta percepción es importante porque una mejora del confort durante una actividad deportiva podría suponer una mejora del rendimiento. Por el contrario, una actividad en la que la percepción de confort sea baja, puede desencadenar una modificación del patrón locomotor y originar un nuevo gesto potencialmente lesivo que no sea soportado por nuestras estructuras musculoesqueléticas. En ciclismo el confort del deportista es de vital importancia. Para lograr alcanzar un nivel alto de confort en el ciclista es necesario realizar una serie de ajustes biomecánicos tanto en los componentes de la bicicleta como en la posición del ciclista. La gran ventaja en este sentido es que las bicicletas tienen numerosos componentes ajustables que se pueden manejar para conseguirlo. Si se alcanza esta posición “ideal”, podríamos decir que se ha realizado un buen “Bike-Fitting”. Las principales variables que se consideran para conseguir un buen ajuste de la posición de la bicicleta son las siguientes (Herrero-Molleda y García-López, 2021) (Figura 4):

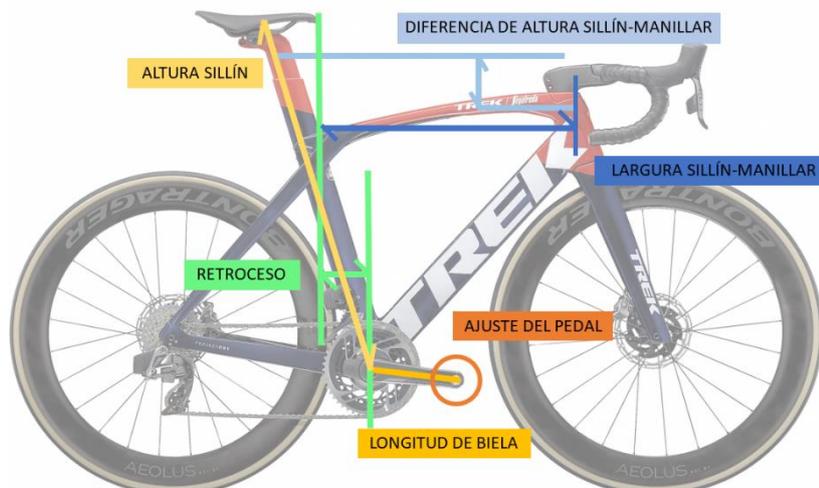


Figura 4.- Principales variables ajustables en la bicicleta adaptado de Herrero-Molleda y García-López (2021). (Elaboración propia)

El primer ajuste y el más importante es la altura del sillín. Diversos autores consideran métodos cuantitativos y cualitativos para realizarlo, utilizando metodologías de diferente complejidad. Por un lado, existen técnicas sencillas comúnmente aceptadas como la “técnica del talón” que consiste en ajustar el sillín en la posición en la que nuestra pierna está completamente extendida cuando se apoya el talón sobre el pedal (Zarzoso et al., 2015). Por otro lado, Swart y Holliday (2019) determinan que el ajuste de la altura del sillín usando el “Holmes Static Method” es el método óptimo para conseguir un aumento del rendimiento y de la prevención de lesiones. Esta metodología se considera estática, ya que consiste en analizar el ángulo de flexión de la rodilla en una posición estática a través de softwares informáticos como Kinovea o un goniómetro. Este método determina que para que la altura del sillín sea la correcta, el ángulo de flexión de la rodilla cuando el pedal está paralelo al suelo y en el punto más bajo del ciclo de pedaleo ha de estar entre 25° y 35°. Hoy en día existen técnicas dinámicas más complejas que analizan a través de sistemas 2D y 3D cuáles son los ángulos de flexo-extensión no solo de la rodilla, sino también del tobillo, cadera, codos, hombros... durante el pedaleo y que permiten ajustar de forma dinámica la altura óptima del sillín. En este tipo de pruebas dinámicas se recomienda un ángulo de flexión de la rodilla de 30-40° en los sistemas 2D (Ferrer-Roca et al., 2012), y 2-3° más en los sistemas 3D en el punto más bajo del ciclo de pedaleo (García-López y Abal del Blanco, 2017).

La segunda variable que tenemos que controlar es la longitud de la biela. Existen diferentes recomendaciones para este ajuste. Según Martin y Spidurso (2001) se recomienda que la longitud de la biela esté entre el 20 y el 21% de la diferencia de altura entre la talla y la talla sentado. Otros autores como Ferrer-Roca et al. (2014) establecen de forma genérica que los ciclistas con una talla menor a 160, 170 y 180 centímetros tendrían que usar bielas de 160, 165 y 170 mm respectivamente. Por su parte los ciclistas que superen los 180 y 185 centímetros de altura deberían colocar bielas de 172.5 y 175 mm respectivamente.

La tercera variable que podemos modificar es el avance o el retroceso que tiene el sillín respecto del eje de la biela. La medición de esta distancia se realiza dejando caer una plomada (*i.e.*, un peso anclado a una cuerda o hilo) desde la punta del sillín. La distancia que exista desde la plomada hasta el eje de la biela será el propio retroceso. Es importante ajustar bien este parámetro ya que, en función de lo adelantado o retrasado que esté el sillín, se modificará la distancia de la cadera respecto de los pedales, e implicará diferentes músculos y la capacidad de hacer fuerza de estos (Zarzoso et al., 2015). Cabe destacar que la Unión Ciclista Internacional (UCI) limita el retroceso del sillín a no menos de 5 centímetros principalmente para que los ciclistas no consigan una ventaja aerodinámica provocada por la flexión del tronco (Herrero-Molleda y García-López, 2021).

La cuarta variable importante es la distancia sillín-manillar, que es la medida entre la punta del sillín y el centro del manillar. Existen varios métodos cuantitativos y cualitativos para ajustar esta distancia, aunque este ajuste presenta mucha variabilidad ya que se ve influenciado por características personales como la experiencia o la flexibilidad (Herrero-Molleda y García-López, 2021). El método cualitativo más aceptado consiste en colocar la punta del codo en la punta del sillín con el antebrazo paralelo al suelo. Para que esta distancia estuviera bien ajustada, la punta de los dedos extendidos debería estar a la altura de la parte transversal del manillar (Zarzoso et al., 2015). En cuanto a los métodos cuantitativos podemos tomar como medida de referencia que la distancia sillín-manillar sea la correspondiente al 65% de la altura de la entepierna (Herrero-Molleda y García-López, 2021).

La quinta variable que debemos ajustar es la diferencia de alturas entre el sillín y el manillar. Tal y como ocurre con la distancia entre el sillín y el manillar, este ajuste tiene gran variabilidad individual y depende de la experiencia, el nivel o la flexibilidad del ciclista e incluso del tipo de bicicleta que se vaya a usar. La consigna más importante es que el sillín ha de estar en todo momento por encima de la altura del manillar (Zarzoso et al., 2015). Sin embargo, se puede asumir que una diferencia de alturas sillín-manillar correcta puede oscilar entre 5-8 centímetros (Herrero-Molleda y García-López, 2021), siendo el sillín el punto más alto y el manillar el más bajo.

Para terminar, cabe determinar las características del ajuste de los componentes relacionados con el pedal. Este ajuste corresponde con el objeto principal de este trabajo, por lo que se explicará con detalle a continuación.

1.4. AJUSTE DEL PIE AL PEDAL

En ciclismo, la fuerza propulsiva principal es aquella producida por los miembros inferiores. Esta energía se transmite desde las piernas a la bicicleta en el punto en el que el pie del ciclista y el pedal se unen. Gregor y Wheeler (1994), Mornieux et al. (2008), y FitzGibbon et al. (2016) denominan este punto clave como Shoe/Pedal-Interface (*i.e.*, Interfaz Zapatilla-Pedal). Gregor y Wheeler (1994) determinan además que la transmisión de fuerzas puede ser suave y fluida, o bien, puede provocar una serie de cargas repetitivas potencialmente lesivas para el cuerpo. Para evitar esta segunda hipótesis, cobran importancia dos aspectos básicos: el tipo de pedal, y el ajuste de la posición del pie respecto del pedal.

El diseño de los pedales ha ido evolucionando a lo largo de los años. Hintzy et al. (1999) definen 4 diferentes tipos de pedales: plano (*i.e.*, sin ningún tipo de fijación), cala-piés (*i.e.*, sujeción rígida sin cinchas laterales), rastrales (*i.e.*, sujeción rígida con cinchas laterales),

y finalmente, pedales automáticos (*i.e.*, que fijan la zapatilla al pedal a través de unos anclajes denominados “calas”) (Too, 1990). Sin embargo, la mayoría de los autores recogen en sus investigaciones únicamente 3 tipos de pedales: planos, rastrales, y automáticos (Hintzy et al., 1999; Conroy, 2021; Herrero-Molleda y García-López, 2021), omitiendo la diferencia entre rastrales y cala-piés, e incluyéndolos bajo el nombre rastral (Figura 5). Los pedales planos y los rastrales permiten cierto grado de movilidad del pie respecto del pedal, mientras que, en los pedales automáticos la libertad del pie es mucho menor siendo incluso inexistente en los primeros modelos de este tipo de pedal (Herrero-Molleda y García-López, 2021). Debido a la poca movilidad que presenta la fijación de la cala con el pedal automático, se considera crítico un correcto ajuste del alineamiento de la cala con el pedal para la prevención de lesiones por sobreuso Gregor y Wheeler (1994).



Figura 5.- Tipos de pedales (Elaboración propia)

La posición del pie en el pedal viene determinada por los 3 grados de libertad que surgen en la colocación de la misma: antero-posterior, medio-lateral, y rotación externa e interna (Herrero-Molleda y García-López, 2021). En sentido antero-posterior, es recomendable que la cala se coloque de tal forma que el eje del pedal esté alineado con la cabeza del primer metatarso del ciclista (Silberman et al., 2005). En sentido medio-lateral la variable que debemos tener en cuenta es el Factor Q, que es la distancia horizontal que existe entre ambos pedales de la bicicleta (Herrero-Molleda y García-López, 2021). En función de si ajustemos la cala de forma más medial o lateral, el factor Q será mayor, o menor respectivamente. Un factor Q de 90 a 120 mm provoca, según Disley y Li (2014), mejoras de hasta un 0,3% en la eficiencia gruesa respecto de distancias entre pedales de 150 a 180 mm. Finalmente, en relación con el rango de rotación interna-externa que puede presentar el pie respecto del pedal, se recomienda una rotación neutral de 0° de tal forma que el pie se encuentre en paralelo con el cuadro de la bicicleta (Herrero-Molleda y García-López, 2021).

La introducción de los pedales automáticos en la industria del ciclismo supuso una revolución. Este tipo de pedales surgieron en torno a 1985 tras la idea del fabricante de

fijaciones de ski Look, de emular el amarre de los skis en los pedales de la bicicleta (Gregor y Wheeler, 1994). Desde que se introdujeron este tipo de pedales, han sido utilizados por prácticamente la totalidad de los ciclistas profesionales y por la gran mayoría de ciclistas no principiantes (Conroy, 2021), dando por hecho que el rendimiento cuando se utilizan es mayor. Pese a ello, apenas existe evidencia científica que avale que el uso de este tipo de pedal es más beneficioso que el resto. Además, la evidencia existente es ciertamente contradictoria.

Por una parte, se ha demostrado que el patrón de movimiento, y la implicación muscular de un ciclista usando pedales automáticos y pedales planos es diferente. Dorel et al. (2010) definieron el ciclo de pedaleo como un movimiento compuesto por 4 fases, una primera fase denominada “top dead center”, una segunda fase llamada “downstroke”, una tercera fase denominada “bottom dead center”, y una cuarta fase denominada “upstroke” (Figura 6). La principal diferencia que se advierte entre los diferentes tipos de pedales es que, mientras que con los pedales planos no se puede aplicar fuerza a partir del momento de la pedalada en la que se llega al bottom dead center (Seo et al., 2016), con los pedales automáticos sí que se puede aplicar fuerza en la fase de upstroke (*i.e.*, hasta un 14% de la fuerza total) (Dorel et al., 2010) debido a la fijación del pedal a la cala. A priori esto parece beneficioso, sin embargo, en otros estudios como el de Mornieux et al. (2008), se concluyó que el hecho de dar feedback a los ciclistas para que aplicaran fuerza en el upstroke en un esfuerzo submáximo, provocaba un nuevo patrón de pedalada más efectivo, pero que podía provocar una descoordinación en la eficiencia mecánica. En cuanto a la implicación muscular de cada tipo de pedales, Cruz y Bankoff (2001) determinaron que los pedales automáticos son más eficientes desde un punto de vista electromiográfico ya que la actividad muscular es menor en la mayoría de los músculos para una misma intensidad.

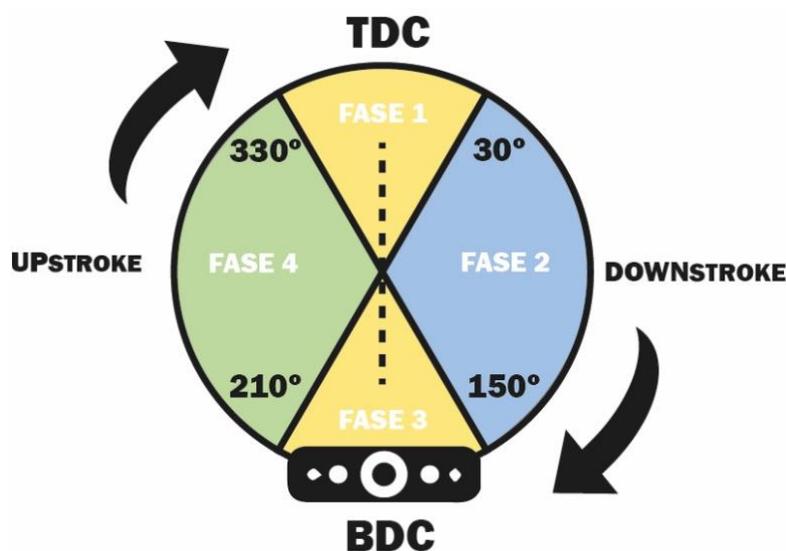


Figura 6.-Fases del ciclo de pedaleo basado en Dorel et al. (2010) (Elaboración propia)

Por otra parte, numerosos estudios se han centrado en analizar cómo afecta el tipo de pedal en el propio rendimiento del ciclista en un esfuerzo real. Hintzy et al. (1999) analizaron en su estudio por primera vez la diferencia que existe en la fuerza, velocidad, potencia, actividad muscular y eficiencia de pedaleo entre los 3 tipos de pedales comentados anteriormente (planos, rastrales y automáticos), realizando 4 sprints de 8 segundos cada uno en cicloergómetro. En su análisis concluyeron que los pedales automáticos mejoraban en todas estas variables respecto de los pedales planos. Mornieux et al. (2008) analizaron cómo afectaba el uso de pedales planos, pedales automáticos, y pedales automáticos con un feedback auditivo para traccionar en la fase de upstroke, a la eficiencia neta, actividad muscular, y el consumo de oxígeno, en un esfuerzo submáximo en cicloergómetro. Los resultados de este estudio fueron sorprendentes, ya que en esas condiciones el VO_2 , la eficiencia neta y la actividad electromiográfica no mostraron ninguna diferencia entre los pedales planos y los automáticos. En el estudio se justifica esta falta de diferencias a la baja intensidad propuesta, ya que fue demasiado baja como para demandar la aplicación de fuerza en la fase de upstroke o subida. Khun (2012) llevó a cabo un estudio en el que analizó la influencia del tipo de pedal en la potencia desarrollada en una prueba máxima de 30 segundos tipo wingate en ciclistas. Los resultados indicaron que el desarrollo de la potencia fue mayor en los pedales automáticos respecto de los rastrales y también respecto de los pedales planos, llegando a una conclusión similar a la de Hintzy et al. (1999). Más adelante, Straw y Kram (2016) analizaron el efecto que tienen 3 interfaces pie-pedal; zapatillas de correr-pedal plano, zapatillas de correr-rastrales de aluminio, y zapatillas de ciclismo-pedales automáticos, en series de 5 minutos a diferentes intensidades; baja a 50 W, submáxima a 100 W, y cercana al steady state a 150 W, en un cicloergómetro sobre el consumo de oxígeno y el coste metabólico. Los resultados del estudio mostraron que no había diferencias en estos dos parámetros entre los tres tipos de interfaces, e hipotetizaron que quizá los ciclistas prefieren usar pedales automáticos debido a cuestiones de confort y seguridad. Más adelante, Burns y Kram (2020) estudiaron los efectos que tenían las interfaces; zapatilla de correr-pedal plano, zapatilla de correr-rastral, y zapatilla rígida de ciclismo-pedal automático, sobre la potencia y velocidad media y máxima en un sprint en subida pavimentada con una pendiente del 5%. Los resultados demostraron que los rastrales mejoraron los 4 parámetros respecto de los pedales planos, y que los pedales automáticos mejoraron a su vez a los rastrales, en los 4 parámetros. Los autores justificaron este hallazgo debido a que los ciclistas “sprinters” utilizan la fuerza propulsiva en el upstroke gracias a los pedales automáticos en condiciones de desarrollo de potencia máxima. El último estudio que analiza las diferencias mecánicas y fisiológicas que se producen entre pedales planos y pedales automáticos es el de Conroy (2021), en el que se comparan la cadencia, la potencia media, y las pulsaciones por minuto medias, durante la realización de una prueba máxima de 20 minutos en un rodillo inteligente.

Los resultados obtenidos reflejaron que la potencia media durante el test fue significativamente mayor en el test realizado con pedales automáticos, que las pulsaciones por minuto medias del esfuerzo fueron significativamente mayores con los pedales planos, y no encontraron diferencias significativas en cuanto a la cadencia media de la prueba. Con estos resultados el autor determinó que sí que había evidencia para afirmar que el tipo de pedal influye en el rendimiento del ciclista, siendo más beneficioso utilizar pedales automáticos respecto a los pedales planos.

Los estudios que se han realizado hasta el momento presentan resultados controvertidos y diferentes limitaciones:

La primera limitación es que las pruebas de la mayoría de los estudios se han realizado en cicloergómetro, en unas condiciones que podrían no ser comparables a las condiciones de campo reales. La segunda limitación, es que parece que los estudios que no presentan diferencias entre los diferentes tipos de pedales están realizados a una intensidad submáxima demasiado baja como para obtener diferencias significativas. En esta línea, tal y como hipotetizan Burns y Kram (2020), la situación de aprovechamiento de los pedales automáticos puede que solo se manifieste en esfuerzos de carácter anaeróbico máximo. Esta reflexión se acerca, y parece comparable a la que llegaron Rodríguez-Marroyo et al. (2009) en la que describieron que el uso de un sistema de platos no circular puede mejorar el rendimiento de los ciclistas profesionales en esfuerzos anaeróbicos y no en efectos aeróbicos o submáximos. Para terminar, la tercera gran limitación que presentan estos estudios es que los esfuerzos que se miden no son representativos de la gran cantidad de terrenos y pendientes a los que se enfrentan en sus carreras y entrenamientos. Así, es necesario para determinar que los pedales automáticos son más beneficiosos que los pedales planos, hacer test en diferentes terrenos que puedan ser representativos de una ruta real.

Dicho esto, y teniendo en cuenta las limitaciones de estudios anteriores, el objetivo principal del presente trabajo es determinar si existen diferencias de rendimiento físico al utilizar pedales planos y pedales automáticos durante esfuerzos máximos y supramáximos realizados en condiciones de campo para ciclistas de carretera. Los objetivos secundarios son analizar si estas diferencias están condicionadas por el tipo de terreno en el que se utilizan (llano vs. escalada).

2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS

En relación con lo expuesto anteriormente, se plantea como objetivo principal:

Evaluar el efecto del tipo de pedal (plano y automático) en el rendimiento físico en ciclismo de carretera.

Además, se plantean como objetivos específicos:

- Analizar el efecto del tipo de pedal en el rendimiento físico en función del tipo de esfuerzo máximo o supramáximo (contrarreloj individual y sprint, respectivamente).
- Analizar el efecto del tipo de pedal en el rendimiento físico en función del tipo de terreno (llano y subida).

En cuanto a las competencias adquiridas durante la realización del trabajo considero por un lado que he adquirido competencias generales relacionadas con el Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León:

- Adquirir la formación científica básica aplicada a la actividad física y al deporte en sus diferentes manifestaciones.
- Conocer y comprender los efectos y los factores fisiológicos y biomecánicos que condicionan la práctica de la actividad física y del deporte.
- Comprender la literatura científica del ámbito de la actividad física y del deporte.
- Desarrollar competencias para el aprendizaje autónomo y la adaptación a las nuevas situaciones.
- Desarrollar hábitos de excelencia y calidad en el ejercicio profesional, actuando con respeto a los principios éticos necesarios.

Por otro lado, en relación con la temática de este trabajo, también he adquirido competencias específicas relacionadas principalmente con la biomecánica:

- Identificar y saber utilizar los principios mecánicos de las fuerzas (cinética), el movimiento (cinemática) y el equilibrio (estática), y aplicarlos tanto para maximizar el rendimiento físico como para minimizar la realización de actividades físicas inadecuadas desde un punto de vista biomecánico.
- Tener una visión general de los sistemas energéticos durante el ejercicio y conocer los factores de los que depende la utilización de cada uno de ellos.

- Aplicar los principios biomecánicos a los diferentes campos de la actividad física y del deporte (educativo, entrenamiento, salud y recreación).
- Interpretar resultados y controlar variables utilizando diferentes métodos y técnicas instrumentales de medición o estimación, tanto de laboratorio como de campo, y aplicarlas en sus futuras tareas profesionales en diferentes grupos de población: docencia, salud, entrenamiento y rendimiento deportivo.
- Seleccionar y saber utilizar los recursos, instrumentos, herramientas y equipamientos adecuados para cada tipo de persona y de actividad, identificando críticamente y en equipo multidisciplinar el marco adecuado para las mismas.

3. METODOLOGÍA

3.1. Participantes

4 hombres ciclistas bien entrenados de entre 18 y 19 años participaron voluntariamente en el presente estudio (Tabla 1). Los ciclistas pertenecían a un club de ciclismo, y participaron en competiciones de la categoría “Juvenil” o “Sub-23” de nivel autonómico y/o nacional en el último año. Todos ellos tenían una amplia experiencia en la práctica de ciclismo habiendo competido en pruebas ciclistas durante al menos 6 años (Tabla 1). Los participantes no manifestaron tener ningún problema médico en el momento del estudio, y fueron informados del procedimiento, los métodos, los posibles beneficios y los riesgos de este. Todos ellos aceptaron su participación en el estudio a través de la firma de un consentimiento informado por escrito antes de iniciarlo (Anexo 1).

Tabla 1. – Principales características de los participantes en el trabajo (Media +DE).

	PARTICIPANTE 1	PARTICIPANTE 2	PARTICIPANTE 3	PARTICIPANTE 4	PROMEDIO±SD
Edad (años)	18	19	19	19	18.8 ± 0.5
Talla (cm)	180	181	176	190	181,8 ± 5.9
Peso (kg)	64	62.2	63.4	67	64.2 ± 2
Temporada actual (días de entrenamiento/semana)	3.5	1	6	Z	4.3 ± 2.5
Temporada actual desde 1 de enero (km totales)	2600	-----	5000	2742	3447.3 ± 1346.5
Temporada anterior 2021-2022 (km totales)	7000	8000	13000	10000	9500 ± 2645.8
Experiencia compitiendo en ciclismo (años)	7	10	6	10	8.3 ± 2.1

3.2. Procedimiento

Los ciclistas realizaron, en dos días separados por un intervalo mínimo de 48 horas, diferentes pruebas de pedaleo a sprint y simulando una contrarreloj individual (CRI) sobre asfalto, utilizando pedales planos y automáticos, en un terreno llano y en otro en subida (Figura 6). El orden de las pruebas con cada tipo de pedal fue aleatorizado para evitar posibles efectos de aprendizaje. Las pruebas de los días 1 y 2 se llevaron a cabo a la misma hora por cada ciclista, para evitar el posible efecto del ritmo circadiano en el rendimiento físico y que las condiciones ambientales fueran lo más similares posibles.

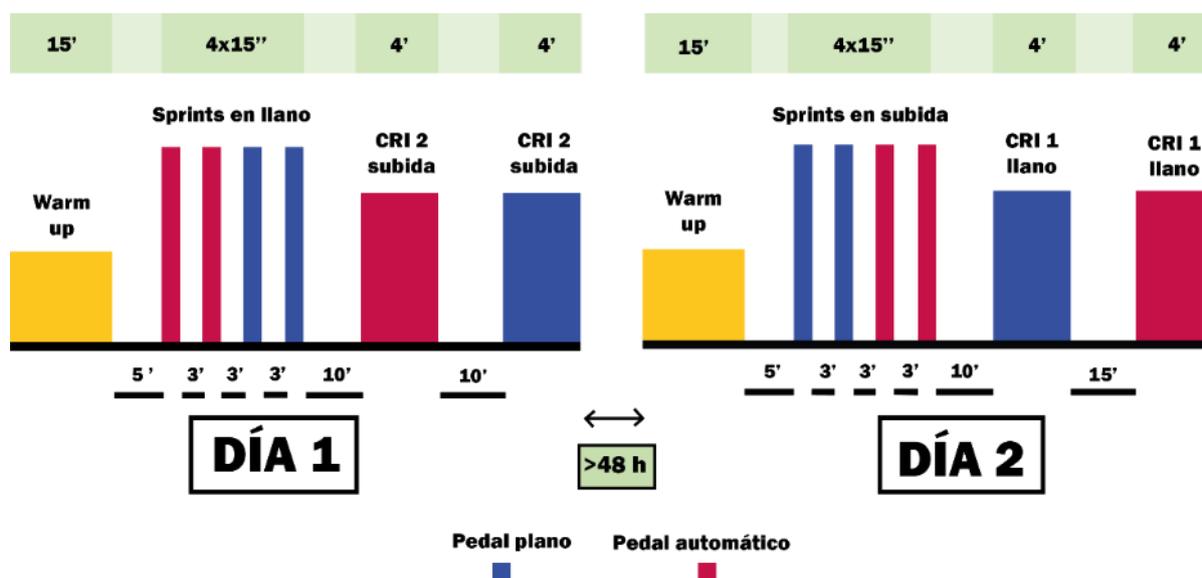


Figura 7.- Procedimiento seguido durante el estudio

El día 1, los ciclistas acudieron con su material habitual de entrenamiento (*i.e.*, bicicleta de ruta, vestimenta y pedales) al lugar donde se llevaron a cabo las mediciones. Los ciclistas llegaron en automóvil al lugar de las pruebas para conseguir que el calentamiento fuera estandarizado para todos ellos. Para realizar las pruebas, se les ajustó a los ciclistas un monitor de frecuencia cardiaca Garmin HRM Dual (Garmin International Inc., Olathe, KA, USA). Además, se les instaló en sus bicicletas un sensor de potencia PowerTap G3 (CycleOps, Madison, USA) que ha sido validado en estudios previos (Bouillod et al., 2017), así como un ciclo-computador Garmin Edge 520 (Garmin International Inc., Olathe, KA, USA) para obtener y recopilar los datos. Los ciclistas utilizaron sus propios pedales automáticos del tipo “Look Keo” (Look, Cedex, France) (3 de los participantes) o “Shimano 520” (Shimano Inc., Sakai, Japan) (1 de los participantes) junto con sus zapatillas de ciclismo, o bien los pedales planos “Rockrider 100” (Decathlon, Lille, France) junto con sus zapatillas deportivas “tipo running”, en función del orden de las pruebas que debían realizar.

Los participantes llevaron a cabo un calentamiento de 15 minutos antes de comenzar las pruebas. El calentamiento fue adaptado de MacInnis et al. (2018), e incluyó; 10 minutos de rodaje a su ritmo preferido, seguido de 1 minuto de esfuerzo a su ritmo de esfuerzo esperado en la prueba CRI, 3 minutos de rodaje a su ritmo preferido, y 1 sprint máximo de 15 segundos. Tras el calentamiento descansaron 5 minutos y realizaron las 4 pruebas de sprint en llano (*i.e.*, las dos primeras con un tipo de pedal y las dos siguientes con el otro), con un descanso de aproximadamente 3 minutos entre cada una de ellas. A continuación, después de 10 minutos de descanso, realizaron las 2 pruebas de CRI en subida, con un descanso de 15 minutos entre ellas. Los pedales fueron cambiados entre pruebas mientras el ciclista se recuperaba del esfuerzo. Además, cada vez que los pedales eran cambiados se realizaba una calibración nueva en el potenciómetro utilizado para evitar posibles alteraciones en los resultados.

El día 2 se llevaron a cabo la misma serie de pruebas, pero en orden inverso (*i.e.*, cambiando el orden de pedales automáticos y planos, así como la realización de las pruebas en llano y subida). De esta forma los ciclistas tras completar el calentamiento y descansar 5 minutos, realizaron los 4 sprint en subida separados por 3 minutos cada uno, y posteriormente, tras descansar 10 minutos, realizaron las series en llano separadas por 15 minutos entre ellas. El resto de las consideraciones y condiciones mencionadas en el día 1 se siguieron igualmente en el día 2.

Todas las pruebas se realizaron en carreteras secundarias que eran conocidas para los ciclistas. Las pruebas de sprint llano se llevaron a cabo en una carretera recta de unos 2 km con una pendiente media menor a $\pm 1\%$, las pruebas de sprint en subida se llevaron a cabo en una subida de aproximadamente 2 km con una pendiente media de un 4%, las pruebas de CRI llana se llevaron a cabo en una recta de unos 4 km con una pendiente media menor a $\pm 1\%$, y las pruebas de CRI en subida se llevaron a cabo en una subida de 2,5 km con una pendiente media del 4%. La diferente distancia de las pruebas de CRI llana y en subida fue seleccionada para que los ciclistas pudieran desarrollar un esfuerzo de 4 minutos, en función del terreno por el que se iban a desarrollar. Durante todas las pruebas los ciclistas podían beber agua libremente, para evitar la deshidratación.

Al finalizar cada prueba se le preguntó a cada ciclista su percepción subjetiva del esfuerzo (RPE). Se utilizó para ello una adaptación de la escala percibida de Borg CR10 que incluye 10 niveles de esfuerzo desde el 0 (*i.e.*, reposo), hasta el 10 (*i.e.*, máximo) (Borg, 1982) (Anexo 2). Esta misma escala ha sido validada como un buen método para cuantificar la carga en ciclismo (Rodríguez-Marroyo et al., 2012).

3.3. Pruebas de sprint.

Se realizaron 4 pruebas de sprint de 15 segundos de duración cada uno de los dos días de estudio (*i.e.*, en un terreno llano el primer día, y en un terreno en subida el segundo día), en las cuales los ciclistas debían pedalear a la máxima intensidad posible. Esta duración fue seleccionada adaptando las pruebas realizadas por Burns y Kram (2020). En el estudio de Burns y Kram (2020), los sprint fueron de 100 metros, sin embargo, en el presente estudio los sprint se contabilizaron a partir de la duración del sprint y no a partir de la distancia recorrida para evitar posibles errores en la medida de la distancia en el campo. La duración del sprint se eligió de 15" ya que era el tiempo aproximado que tardaban los ciclistas del estudio de Burns y Kram (2020) en realizar los sprint. A diferencia del estudio de Burns y Kram (2020) los ciclistas partieron desde parado (*i.e.*, sujetos por el examinador). Los ciclistas podían visualizar en la pantalla del ciclo computador únicamente el tiempo transcurrido, comenzando la prueba cuando querían, y finalizándola después de transcurridos 15 segundos. La posición sobre la bicicleta durante el sprint no fue determinada de antemano, de tal forma que los ciclistas podían elegir cómo realizar el sprint, bien en una posición sentados o levantados. Todos los ciclistas en todos los sprint eligieron realizar los sprint levantados para aplicar la mayor fuerza posible (Burns y Kram, 2020). El desarrollo también fue seleccionado libremente con el objetivo de conseguir la mayor velocidad posible en ese intervalo de tiempo, siendo autorizados para cambiarlo durante el propio sprint. Para realizar el análisis de datos, se tomó como representativo el sprint con mayor potencia media.

3.4. Pruebas de contrarreloj.

Se realizaron 2 pruebas de CRI de 4 minutos de duración cada uno de los dos días de estudio (*i.e.*, en un terreno en subida el primer día, y en un terreno llano el segundo día), en las cuales los ciclistas debían pedalear a la máxima intensidad posible. La prueba de CRI de 4 minutos fue seleccionada ya que, por su duración, era el test que mejor se ajustaba al diseño y objetivo del estudio. Además, diversos autores han determinado el test máximo de 4 minutos como un test adecuado para evaluar el rendimiento en ciclistas (Nimmerichter et al., 2010) y está correlacionado con el umbral de potencia funcional o FTP (*i.e.*, en inglés, Functional Threshold Power) que es una de las principales medidas usadas para controlar el rendimiento en ciclismo actualmente (MacInnis et al., 2018), y que se define como "La máxima potencia que un ciclista es capaz de mantener en un estado casi estable sin fatigarse, durante un largo periodo de tiempo" (Allen et al., 2019, p. 59). Los ciclistas partían desde parado (*i.e.*, sujetos por el examinador), y podían visualizar en la pantalla del ciclo computador únicamente el tiempo transcurrido, comenzando la prueba cuando querían, y finalizándola después de transcurridos 4 minutos. La posición sobre la bicicleta durante la CRI no fue determinada de

antemano, de tal forma que los ciclistas podían elegir cómo posicionarse a lo largo del test, bien en una posición sentados, levantados o ambas alternativamente. El desarrollo también fue seleccionado libremente con el objetivo de conseguir la mayor velocidad posible en ese intervalo de tiempo, siendo autorizados para cambiarlo durante la propia CRI. Para realizar el análisis de datos, se tomaron como representativos cada uno de los intentos de CRI realizados.

3.5. Análisis de datos.

Los datos de potencia de pedaleo registrados en el potenciómetro PowerTap G3, y los datos de frecuencia cardiaca registrados con el monitor de frecuencia cardiaca Garmin HRM Dual (Garmin International Inc., Olathe, KA, USA) se enviaron al receptor Garmin Edge 520, a una frecuencia de muestreo de 1 Hz. Tras finalizar los test, este receptor se conectó con la aplicación web Garmin Connect (Garmin International Inc., Olathe, KA, USA), se descargaron los archivos generados, y se importaron los datos en el software de análisis Golden Cheetah (Golden Cheetah training software, goldencheetah.org), a continuación, los datos relativos a cada uno de los test fueron exportados y tratados con Microsoft Office Excel 365 (Microsoft, Redmond, USA).

Como todas las pruebas comenzaban de parado, se tomaron los primeros registros de cada una de las variables diferentes de “0” hasta completar el tiempo de prueba de cada uno de los intentos. Así, se obtuvieron los valores medios y máximos de potencia, velocidad, cadencia y frecuencia cardiaca como valores representativos de cada prueba (Anexo 3). La potencia fue relativizada posteriormente en función de la masa corporal de los ciclistas.

Además, se calculó el % de diferencia entre los pedales planos y los pedales automáticos en cada tipo de prueba, siguiendo la ecuación $\%DIF = (\text{Dato pedal automático} - \text{Dato pedal plano}) * 100 / \text{Dato pedal plano}$. También se calculó el % de diferencia entre pruebas en subida y pruebas en llano con cada tipo de pedal, siguiendo la ecuación $\%DIF = (\text{Dato en subida} - \text{Dato en llano}) * 100 / \text{Dato en llano}$ (Anexo 4).

En relación al análisis estadístico de los datos, se realizó mediante el software de análisis estadístico SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL) Versión 26. Se aplicó una prueba de análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías (pedal x terreno) para medidas repetidas, y se calculó el tamaño del efecto con la prueba estadística “Eta parcial cuadrado” (η_p^2). En las pruebas ANOVA, los valores $P < 0,05$ se consideraron estadísticamente significativos. Los valores de η_p^2 fueron considerados como un tamaño del efecto pequeño (0.01–0.059), moderado (0.06–0.137) y grande (> 0.137).

4. RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las pruebas de sprint en llano y en subida realizadas con los dos tipos de pedal (*i.e.*, Plano y Automático). A excepción de la RPE, durante el sprint en llano, todas las variables analizadas han obtenido un valor mayor con el pedal automático respecto al plano, siendo el tamaño del efecto grande en todas ellas excepto la cadencia máxima en el sprint de subida, en la que el tamaño del efecto ha sido moderado.

Tabla 2. – Medias, desviaciones estándar y tamaño del efecto de las diferencias entre los registros obtenidos en las pruebas de sprint en llano y subida con los dos tipos de pedal analizados (Plano vs. Automático).

	Sprint Llano			Sprint Subida		
	Pedal Plano	Pedal Automático	η_p^2	Pedal Plano	Pedal Automático	η_p^2
Potencia media (W)	672.9 ± 21.6	930.2 ± 45.4	0.987	695.3 ± 25.2	903.1 ± 29.8	0.968
Potencia máxima (W)	776 ± 34.9	1108.3 ± 54.4	0.987	818 ± 58.8	1109 ± 64.6	0.905
Velocidad media (km/h)	33.8 ± 3.4	38 ± 1.4	0.722	30.2 ± 1	35 ± 4.4	0.714
Velocidad máxima (km/h)	42 ± 5.5	46.7 ± 2.6	0.693	37.6 ± 1.7	42.3 ± 4.2	0.782
Cadencia media (rpm)	90.3 ± 7.1	98.2 ± 7.4	0.821	93.1 ± 8	96.6 ± 4.1	0.172
Cadencia máxima (rpm)	106 ± 12.4	113.5 ± 13.4	0.712	112.3 ± 17.1	116 ± 6.1	0.105
Frecuencia Cardíaca media (ppm)	139 ± 25.6	149.3 ± 26.6	0.879	140.5 ± 26.5	145.5 ± 26.9	0.939
Frecuencia Cardíaca máxima (ppm)	153 ± 27	162.5 ± 29.8	0.898	153 ± 32.8	160.3 ± 33.1	0.713
RPE (escala 1-10)	8.3 ± 1	8.3 ± 0.5	0	7.6 ± 0.5	8.3 ± 1	0.481

RPE: Percepción subjetiva del esfuerzo. η_p^2 : tamaño del efecto, prueba eta parcial al cuadrado (pequeño 0.01–0.059, moderado 0.06–0.137 y grande > 0.137).

Así, la potencia, velocidad, cadencia y frecuencia cardíaca medias en el sprint en llano fueron un 38.2, 12.3, 8.7 y 7.4% mayores con el pedal automático, mientras que en el sprint en subida fueron un 29.9, 15.7, 3.9 y 3.6% mayores, respectivamente. Por su parte, la potencia, velocidad, cadencia y frecuencia cardíaca máximas en el sprint llano fueron un 42.8, 11.4, 7.1 y 6.2 % mayores con el pedal automático, mientras que en el sprint en subida fueron un 35.6, 12.4, 3.3 y 4,7% mayores respectivamente. Finalmente, en cuanto a la RPE en el sprint en llano los valores con ambos tipos de pedales fueron iguales, y en el sprint en subida los valores fueron un 8.2 % más altos con el pedal automático.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de las pruebas de CRI en llano y en subida realizadas con los dos tipos de pedal (*i.e.*, Plano y Automático). A excepción de la frecuencia

cardiaca media y máxima, durante la CRI en llano y en subida, todas las variables analizadas han obtenido un valor mayor con el pedal automático respecto al plano. En este sentido, se ha obtenido un tamaño del efecto grande en la potencia media y máxima, velocidad media, y cadencia media y máxima en llano y en subida, y en la velocidad máxima en subida y la RPE en llano.

Tabla 3. – Medias, desviaciones estándar y tamaño del efecto de las diferencias entre los registros obtenidos en las pruebas de CRI en llano y subida con los dos tipos de pedal analizados (Plano vs. Automático).

	CRI Llano			CRI Subida		
	Pedal Plano	Pedal Automático	η_p^2	Pedal Plano	Pedal Automático	η_p^2
Potencia media (W)	292.5 ± 45.2	322.6 ± 62.7	0.592	303.2 ± 33.3	337.6 ± 67.4	0.405
Potencia máxima (W)	629.5 ± 43.7	814 ± 86.3	0.917	653 ± 43	743 ± 60.4	0.786
Velocidad media (km/h)	41.3 ± 2	43.1 ± 1.0	0.494	24.4 ± 1.6	26.3 ± 3.1	0.537
Velocidad máxima (km/h)	48.2 ± 1.2	48.9 ± 2.1	0.08	33.6 ± 2.6	36 ± 3.1	0.81
Cadencia media (rpm)	82.3 ± 8.8	91.1 ± 6.1	0.718	85.2 ± 10.1	89.1 ± 7.9	0.305
Cadencia máxima (rpm)	102.8 ± 4	117.3 ± 10.8	0.75	106 ± 12.4	126 ± 39.7	0.164
Frecuencia Cardiaca media (ppm)	163 ± 22.8	159 ± 35.2	0.105	172.4 ± 11.5	171.9 ± 16.5	0.004
Frecuencia Cardiaca máxima (ppm)	173 ± 21.6	168.5 ± 38.3	0.074	182.5 ± 10.7	181.5 ± 17.5	0.009
RPE (escala 1-10)	8.2 ± 1	8.6 ± 0.5	0.49	8.4 ± 0.5	8.8 ± 0.5	0.05

RPE: Percepción subjetiva del esfuerzo. η_p^2 : tamaño del efecto, prueba eta parcial al cuadrado (pequeño 0.01–0.059, moderado 0.06–0.137 y grande > 0.137).

Así, la potencia, velocidad y cadencia medias en la CRI en llano fueron un 10.3, 4.4 y 10.8% mayores con el pedal automático, mientras que en la CRI en subida fueron un 11.3, 7.7 y 4.5% mayores, respectivamente. Por su parte, la potencia, velocidad y cadencia máximas en la CRI en llano fueron un 29.3, 1.6 y 14.1 % mayores con el pedal automático, mientras que en la CRI en subida fueron un 13.8, 7 y 18.8% mayores con el pedal automático respectivamente. Finalmente, en cuanto a la RPE, en la CRI en llano los valores fueron un 5% mayores con el pedal automático, y en la CRI en subida fueron un 4.5% mayores con el mismo pedal.

La Figura 8 representa la potencia media obtenida con los diferentes tipos de pedal, en cada prueba y tipo de terreno. El análisis de la varianza (ANOVA) ha mostrado un tamaño

del efecto grande del tipo de pedal (Plano vs. Automático; $F= 179.6$, $P<0.001$ y $\eta_p^2= 0.937$) y de la combinación entre el tipo de pedal y la prueba realizada (Sprint vs. CRI; $F= 102.8$, $P<0.001$ y $\eta_p^2= 0.895$). El tamaño del efecto ha sido moderado en función del terreno (Llano vs. Subida, $F= 1.3$, $P= 0.28$ y $\eta_p^2= 0.098$) y en la combinación de los tres factores (pedal/prueba/terreno; $F= 0.85$, $P= 0.20$ y $\eta_p^2= 0.134$).

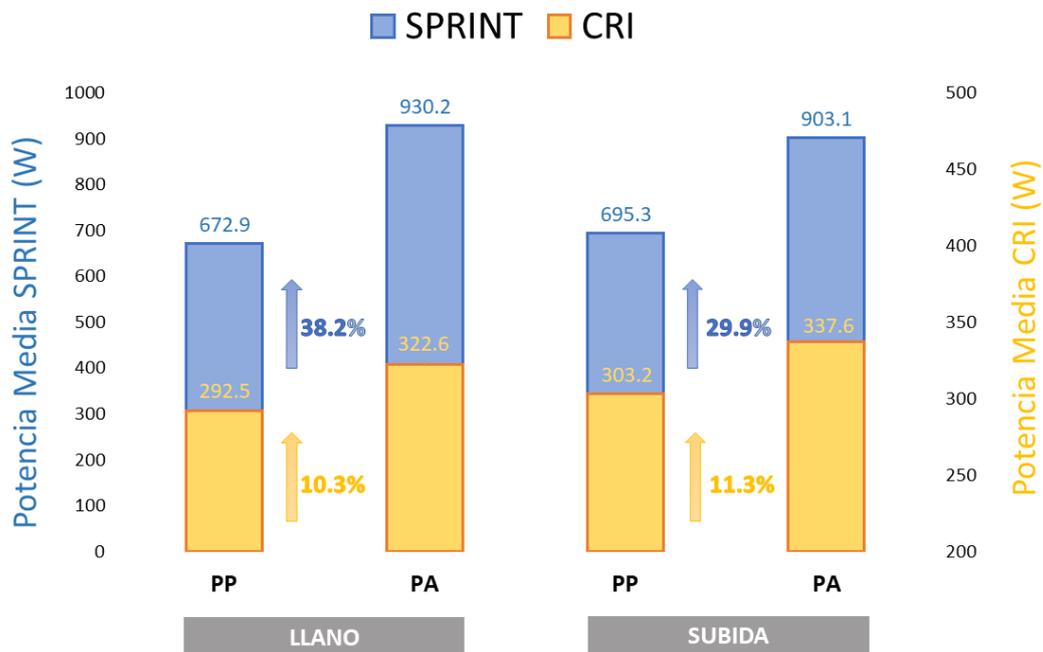


Figura 8.- Potencia media (W) de cada intento (PP: Pedal Plano; PA: Pedal Automático)

La Figura 9 muestra la cadencia media obtenida con los diferentes tipos de pedal, en cada prueba y tipo de terreno. El análisis de la varianza (ANOVA) ha mostrado un tamaño del efecto grande del tipo de pedal (Plano vs. Automático; $F= 12.516$, $P=0.004$ y $\eta_p^2=0.511$), sin efecto combinado del tipo de pedal y la prueba realizada (Sprint vs. CRI; $F= 0.35$, $P= 0.855$ y $\eta_p^2= 0.03$). El tamaño del efecto ha sido moderado en función del terreno (Llano vs. Subida; $F= 1.9$, $P= 0.2$, y $\eta_p^2= 0.134$), sin combinación entre los tres factores (pedal/prueba/terreno; $F= 0.13$, $P= 0.9$ y $\eta_p^2= 0.01$).

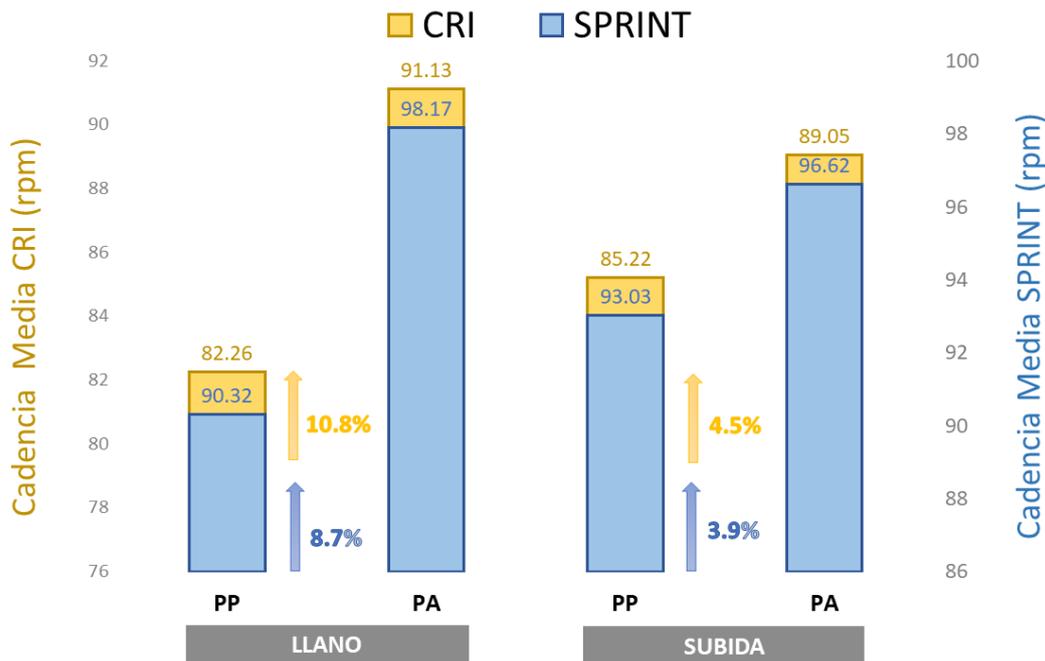


Figura 9.- Cadencia media (rpm) en cada una de las pruebas realizadas (PP: Pedal Plano; PA: Pedal Automático; CRI: contrarreloj individual)

5. DISCUSIÓN

El principal hallazgo del estudio ha sido demostrar un aumento en el rendimiento físico de los ciclistas (*i.e.*, velocidad, producción de potencia y frecuencia de pedaleo) en situaciones reales de entrenamiento (*i.e.*, en campo) con pedales automáticos respecto a pedales planos, tanto en esfuerzos máximos de corta duración (*i.e.*, 15 segundos) como de larga duración (*i.e.*, 4 minutos), independientemente del tipo de terreno (*i.e.*, llano o subida). Las mejoras han sido más sustanciales cuando las pruebas eran de menor duración (*i.e.*, sprint) y en terreno llano.

Diferentes estudios han investigado anteriormente la diferencia en el rendimiento físico entre los diferentes tipos de pedales (*i.e.*, planos, rastrales, y automáticos). Por lo general estas investigaciones han intentado determinar u la diferencia únicamente en un solo terreno, (*i.e.*, llano o subida), con esfuerzos de una misma duración (*i.e.*, sprint o CRI), con una intensidad máxima o submáxima, y generalmente en una situación de laboratorio. En este sentido, hasta donde llega nuestro conocimiento, este es el primer estudio que engloba todas estas situaciones y variables para tener una visión global de cómo afecta el tipo de pedal al rendimiento físico del ciclista.

Las mejoras observadas en las pruebas de corta duración o sprint en la potencia máxima (Tabla 2) han oscilado entre el 42.2 y el 35.6% (terreno llano y subida, respectivamente). Estas mejoras son claramente superiores a las mostradas en estudios donde se analizaron pruebas de sprint de 8 segundos realizadas en cicloergómetro de laboratorio (Hintzy et al., 1999), donde se obtuvo una diferencia del 18%. Sin embargo, son más cercanas a las registradas en estudios de campo donde se realizaron pruebas de sprint de 100 m en subida (Burns y Kram, 2020), obteniendo unas mejoras del 26.5%. Además, en este último estudio se obtuvieron mejoras del 15.8% en la potencia media, mientras que en el presente trabajo fueron del 29.9% en subida (Figura 8). A la luz de estos resultados, claramente en los estudios de campo se han obtenido mayores diferencias que en los estudios de laboratorio, posiblemente porque los ergómetros de laboratorio no simulan exactamente las características inerciales del pedaleo en campo. Aunque hay estudios que no observan diferencias en rendimiento anaeróbico en condiciones de campo y laboratorio (Gardner et al., 2007), otros sí las han observado (Bertucci et al., 2005; Bertucci et al., 2007). De otra parte, las diferencias encontradas en el presente trabajo son mayores que las obtenidas en el otro estudio de campo, porque en el mismo se partía de una posición lanzada del ciclista, mientras que en el presente trabajo se partía de parado. En esta condición es muy posible que se aproveche más el pedal automático, aunque futuros trabajos deberían demostrar si esto es así ya que no se han encontrado estudios que analicen estas dos condiciones.

Las mejoras observadas en las pruebas de CRI en la potencia media (Tabla 3 y Figura 8) han oscilado entre el 10.3 y el 11.3% (terreno llano y subida, respectivamente). Estas mejoras son más de un tercio menores que las observadas en pruebas de sprint y, además, se ha observado un tamaño del efecto grande entre el tipo de pedal y la prueba realizada ($p\eta^2= 0.895$). Estas mejoras también son muy superiores al 5.3% de mejora registrado en un estudio anterior que realizó una CRI de 20 minutos de duración en condiciones de laboratorio (Conroy, 2021). La diferencia de rendimiento entre ese estudio y el presente trabajo se justifican por el diferente entorno en el que se realizó la prueba (*i.e.*, laboratorio vs. campo, explicado en el párrafo anterior) y por la mayor duración de la CRI, que conlleva una menor aplicación de potencia (en la línea de lo comentado en este párrafo).

Las mejoras en el rendimiento físico observadas al utilizar pedales automáticos se deben, en gran parte a la posibilidad de pedalear a una mayor cadencia, fundamentalmente en terreno llano (Figura 9), habiéndose observado un tamaño del efecto moderado (pedal x terreno; $p\eta^2= 0.134$), no afectando el tipo de prueba (Sprint vs. CRI). En este sentido, podemos hipotetizar que los pedales automáticos mejoran el rendimiento principalmente debido a 2 factores de diferente índole relacionados con la cadencia de pedaleo.

Por un lado, el argumento más utilizado para explicar el mayor rendimiento físico del pedaleo con pedales automáticos se debe a un concepto muscular, y es que con automáticos existe una mayor capacidad de aplicar fuerza propulsiva durante el upstroke (Dorel et al., 2010; Burns y Kram, 2016). Sin embargo, nosotros consideramos que se debe añadir la hipótesis de que los pedales automáticos también permitan hacer más fuerza propulsiva en las fases de pedaleo de top dead centre y bottom dead centre, ya que, a nivel muscular se ha demostrado que a cadencias superiores a 85 rpm aumenta el porcentaje de potencia que se aplica en estas fases (Dorel et al., 2010). Igualmente, al comparar el pedaleo a máxima intensidad respecto al de intensidad submáxima, se ha observado más implicación de los músculos flexores de cadera (*e.g.*, psoas, iliopsoas, recto femoral del cuádriceps y sartorio), y en menor medida de los flexores de rodilla (*e.g.*, bíceps femoral) (Dorel et al., 2012). Estos grupos musculares coinciden precisamente con aquellos que se reclutan en las fases de top dead centre y bottom dead centre (*i.e.*, que son los flexores de cadera y los flexores de rodilla) (Hug y Dorel, 2009). Por otro lado, hipotetizamos que el aumento del rendimiento, fundamentalmente en el sprint se debe a un concepto mecánico relacionado con el aumento de la inercia con los pedales automáticos durante el pedaleo, fundamentado por un aumento en la capacidad de pedalear a mayor velocidad (*i.e.*, a mayor cadencia) y que deriva en un aumento en la capacidad para producir potencia. Esta ventaja inercial parece más aprovechable tanto en sprint cortos como en el terreno en llano, ya que a menor velocidad o con la superficie inclinada, este componente inercial es menor (García-López, 2009).

Además, en el presente trabajo se ha observado un tamaño del efecto moderado del terreno en la potencia y la cadencia medias (Figuras 8 y 9; $\eta_p^2 = 0.098$ y 0.134 , respectivamente). Este efecto estaría justificado, como se ha comentado anteriormente, por un mayor aprovechamiento del componente inercial durante el pedaleo en llano, que durante el pedaleo en subida. Los registros de mayor potencia media en llano respecto a la subida en el mismo tipo de prueba (Sprint y CRI) coinciden con recientes publicaciones sobre el récord de potencia (*i.e.*, perfil de potencia ó “power profile”) que los ciclistas consiguen en función del tipo de terreno (Van Erp et al., 2022).

En cuanto al resto de variables, la velocidad media y máxima fue mayor en todas las pruebas con los pedales automáticos, siendo un reflejo de la potencia realizada y comportándose por tanto como la misma. La frecuencia cardiaca media y máxima no fue sensible al tipo de pedal presentando, siendo ligeramente mayores en las pruebas con automáticos (*i.e.*, un 2% en ambas), pero sin obtener resultados concluyentes. Finalmente, en cuanto a la RPE, tampoco fue muy sensible al tipo de pedal (*i.e.*, un 4.5% de media), pese a ser ligeramente mayor en la mayoría de los intentos. En este sentido, las respuestas a los

esfuerzos de las variables de carga interna (*i.e.*, Frecuencia cardiaca y RPE) son inversas a las recogidas en Conroy (2021), donde los datos de frecuencia cardiaca fueron significativamente superiores con pedales planos que con automáticos. Conroy (2021), hipotetizó que esto se podía deber a que los pedales automáticos involucraban menos masa muscular y por tanto esto derivaba en una menor frecuencia cardiaca al usar estos pedales. Por el contrario, los resultados obtenidos en el presente estudio pueden dar lugar a pensar que el uso del pedal automático permite expresarse en su totalidad al ciclista para realizar un esfuerzo más intenso, y por tanto a una mayor frecuencia cardiaca y RPE.

Por último, cabe destacar que los ciclistas al realizar ambos tipos de pruebas tuvieron mayor sensación de seguridad y confianza para poder aplicar la mayor fuerza posible con los pedales automáticos que con los pedales planos. Esta consideración es importante ya que otra de las explicaciones de porque los ciclistas eligen usar pedales automáticos es la sensación de seguridad y confort que tienen con este tipo de pedal.

Las principales limitaciones de este trabajo son: a) el número de participantes, que debería haber sido mayor para que los resultados estadísticos mostrados fueran más consistentes; b) la duración de la prueba de CRI, que se seleccionó de 4 minutos, para que se pudiese realizar el protocolo aleatorizando todas las condiciones, en dos sesiones de valoración; posiblemente la duración sea muy corta en función de las pruebas de CRI típicas del ciclismo en ruta; c) el hecho de que todos los participantes estaban familiarizados con el uso de pedales automáticos, y no de pedales planos, por lo que futuros trabajos deberían añadir una fase de familiarización y entrenamiento con los pedales planos, o seleccionar grupos de ciclistas que previamente no hubiesen utilizado pedales automáticos.

6. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

Los pedales automáticos mejoran el rendimiento físico de los ciclistas en condiciones reales de entrenamiento (campo), de manera más sustancial a la que se había observado en estudios previos de laboratorio, posiblemente porque la inercia del pedaleo es más real y permite a los ciclistas expresar su máximo potencial físico en condiciones de campo. Además, las pruebas realizadas en el presente estudio también superan ampliamente las diferencias obtenidas en el sprint en estudios de campo anteriores. Sin embargo, esta diferencia puede estar justificada por la posición de salida del sprint (*i.e.*, de parado, o lanzada).

La mejora es mayor en pruebas de sprint respecto de contrarreloj, debido a que el pedal automático posibilita pedalear con una mayor cadencia y velocidad al ciclista, lo que genera mayor inercia cuanto más velocidad se aplique a la bicicleta. Además, es posible que

en las pruebas de sprint se pueda lograr una mayor implicación muscular durante todo el ciclo de pedaleo que en las contrarrelojes.

La mejora es mayor en terreno llano respecto a subida, nuevamente debido a la capacidad de pedalear más rápido, y por tanto un mayor aprovechamiento del componente inercial del movimiento de la bicicleta en llano que en subida, y que deriva en una mayor aplicación de potencia en esta condición. Además, es posible que en las pruebas en llano se pueda lograr una mayor implicación muscular durante todo el ciclo de pedaleo que en la subida.

La principal aplicación práctica de este trabajo es que los ciclistas, además de percibir mayor seguridad durante esfuerzos supramáximos con los pedales automáticos, se verán más beneficiados de su uso en pruebas más cortas y que se realizan en llano (e.g., prólogos de ciclismo, pruebas de velocidad de ciclismo en pista, triatlón sprint y súper-sprint, etc.). Asimismo, en algunas de ellas (e.g., triatlón) los deportistas deberán valorar si compensa el uso de automáticos al tener que realizar un cambio de calzado entre la fase de ciclismo y de carrera.

Futuros trabajos con mayor número de ciclistas y con pruebas de CRI de mayor duración podrían analizar minuciosamente la fuerza aplicada durante todo el ciclo de pedaleo y la actividad eléctrica muscular en condiciones parecidas a las realizadas en el presente estudio.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, Hunter., Coogan, Andrew. y McGregor, Stephen. (2019). *Training and Racing with a Power Meter*. VeloPress.
- Asociación de Marcas y Bicicletas de España (2022). El sector de la bicicleta en cifras 2021 [Archivo PDF]. Recuperado de [Link](#).
- Bertucci, W., Grappe, F., y Gros Lambert, A. (2007). Laboratory versus outdoor cycling conditions: differences in pedaling biomechanics. *Journal of applied biomechanics*, 23(2), 87–92. <https://doi.org/10.1123/jab.23.2.87>
- Bertucci, W., Taiar, R., y Grappe, F. (2005). Differences between sprint tests under laboratory and actual cycling conditions. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 45(3), 277–283.
- Borg, G. (1982). A category scale with ratio properties for intermodal and interindividual comparisons. En Geissler, H., y Petzold, P. (Eds.), *Psychophysical judgment and the process of perception*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften. (pp. 25–34).
- Bouillod, A., Pinot, J., Soto-Romero, G., Bertucci, W., y Grappe, F. (2017). Validity, Sensitivity, Reproducibility, and Robustness of the PowerTap, Stages, and Garmin Vector Power Meters in Comparison With the SRM Device. *International journal of sports physiology and performance*, 12(8), 1023–1030. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0436>
- Burns, A. C., y Kram, R. (2020). The effect of cycling shoes and the shoe-pedal interface on maximal mechanical power output during outdoor sprints. *Footwear Science*, 12(3), 185-192. <https://doi.org/10.1080/19424280.2020.1769201>
- Conroy, K. E. (2021). *Physiological and Mechanical Comparisons between Clipless and Flat Pedals* (Tesis Doctoral, University of Nevada, Las Vegas).
- CSD-Consejo Superior de Deportes. (2010). *Encuesta sobre los hábitos deportivos en España 2010*. CSD. Recuperado de [Link](#).
- CSD-Consejo Superior de Deportes. (2020). *Encuesta de Hábitos Deportivos en España 2020*. CSD. Recuperado de [Link](#).
- CSD-Consejo Superior de Deportes (2021). *Estadística de Deporte Federado*. CSD. Recuperado de [Link](#).
- CSD-Consejo Superior de Deportes (2021). *Histórico licencias (actualizado 2021)*. CSD. Recuperado de [Link](#).

- Cruz, C. F., y Bankoff, A. D. P. (2001). Electromyography in cycling: difference between clipless pedal and toe clip pedal. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 41(4), 247-252.
- Disley, B. X., y Li, F. X. (2014). The effect of Q factor on gross mechanical efficiency and muscular activation in cycling. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(1), 117–121. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01479.x>
- Dorel, S., Couturier, A., Lacour, J. R., Vandewalle, H., Hautier, C., y Hug, F. (2010). Force-velocity relationship in cycling revisited: benefit of two-dimensional pedal forces analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(6), 1174–1183. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c91f35>
- Dorel, S., Guilhem, G., Couturier, A., y Hug, F. (2012). Adjustment of muscle coordination during an all-out sprint cycling task. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(11), 2154–2164. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182625423>
- Ferrer-Roca, V. (2017). *Comparación de diferentes métodos de ajuste de la bicicleta en ciclistas entrenados: Influencia de factores biomecánicos y energéticos* [Tesis Doctoral, Universidad de León]. BULERÍA.
- Ferrer-Roca, V., Bescós, R., Roig, A., Galilea, P., Valero, O., y García-López, J. (2014). Acute effects of small changes in bicycle saddle height on gross efficiency and lower limb kinematics. *Journal of strength and conditioning research*, 28(3), 784–791. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1f1a9>
- Ferrer-Roca, V., Roig, A., Galilea, P., y García-López, J. (2012). Influence of saddle height on lower limb kinematics in well-trained cyclists: static vs. dynamic evaluation in bike fitting. *Journal of strength and conditioning research*, 26(11), 3025–3029. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318245c09d>
- FitzGibbon, S., Vicenzino, B., y Sisto, S. A. (2016). INTERVENTION AT THE FOOT-SHOE-PEDAL INTERFACE IN COMPETITIVE CYCLISTS. *International journal of sports physical therapy*, 11(4), 637–650.
- García-López, J. (2009). Valoración Biomecánica I. En F. Jiménez et al. (Eds.). *Medicina y Fisiología del Ciclismo*. (pp. 532-631). Nexus Médica
- García-López, J., y Abal de Blanco, P. (2017). Kinematic analysis of bicycle pedalling using 2D and 3D motion capture systems. *Conference Proceedings. 35th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports*, 785-788.

- Gardner, A. S., Martin, J. C., Martin, D. T., Barras, M., y Jenkins, D. G. (2007). Maximal torque- and power-pedaling rate relationships for elite sprint cyclists in laboratory and field tests. *European journal of applied physiology*, 101(3), 287–292. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0498-4>
- Gregor, R. J., y Wheeler, J. B. (1994). Biomechanical factors associated with shoe/pedal interfaces. Implications for injury. *Sports medicine*, 17(2), 117–131. <https://doi.org/10.2165/00007256-199417020-00004>
- Herrero-Molleda, A., y García-López, J. (2021). El reto de ajustar la bicicleta a la mujer: situación actual y perspectivas futuras. *Logía, educación física y deporte: Revista Digital de Investigación en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 2(1), 1-14.
- Hintzy, F., Belli, A., Grappe, F., y Rouillon, J. D. (1999). Effet de l'utilisation de pédales automatiques sur les caractéristiques mécaniques mesurées lors de sprints sur cycloergomètre non isocinétique. *Science and sports*, 14(3), 137-144. <https://doi.org/10.2165/00007256-199417020-00004>
- Hug, F., y Dorel, S. (2009). Electromyographic analysis of pedaling: a review. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 19(2), 182–198. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.10.010>
- Ipsos Global Advisor. (2021). *GLOBAL VIEWS ON EXERCISE AND TEAM SPORTS* [Archivo PDF]. Recuperado de [Link](#). (pdf)
- Izquierdo, Mikel., y Arteaga, Rafael. (2008). Kinesiología y biomecánica de la actividad física y el deporte: concepto y revisión histórica en M.Izquierdo (Ed.), *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte* (pp.1-15). Editorial Medica Panamericana
- Kuhn, B. (2012). *A Comparison Of Three Bicycle Pedal Types And Power Output*. [Tesis Doctoral, Fort Hays State University]. Recuperado de [Link](#).
- Lucas-Cuevas, A.G., y Pérez- Soriano, P. (2018). ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL CONFORT en Pérez-Soriano, P. (Coord.). (Ed), *Metodología y aplicación práctica de la biomecánica Deportiva*. Editorial Paidotribo.
- MacInnis, M. J., Thomas, A. C. Q., y Phillips, S. M. (2018). The Reliability of 4-min and 20-min Time Trials and Their Relationships to Functional Threshold Power in Trained Cyclists. *International journal of sports physiology and performance*, 1–27. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0100>

- Martin, J. C., y Spirduso, W. W. (2001). Determinants of maximal cycling power: crank length, pedaling rate and pedal speed. *European journal of applied physiology*, 84(5), 413–418. <https://doi.org/10.1007/s004210100400>
- McGinnis, P.M. (2013). *BIOMECHANICS OF SPORT AND EXERCISE*. Human Kinetics.
- Mornieux, G., Stapelfeldt, B., Gollhofer, A., y Belli, A. (2008). Effects of pedal type and pull-up action during cycling. *International journal of sports medicine*, 29(10), 817–822. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1038374>
- Nimmerichter, A., Williams, C., Bachl, N., y Eston, R. (2010). Evaluation of a field test to assess performance in elite cyclists. *International journal of sports medicine*, 31(3), 160–166. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1243222>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., García-López, J., Chamari, K., Córdova, A., Hue, O., y Villa, J. G. (2009). The rotor pedaling system improves anaerobic but not aerobic cycling performance in professional cyclists. *European journal of applied physiology*, 106(1), 87–94. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-0993-x>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Villa, G., García-López, J., y Foster, C. (2012). Comparison of heart rate and session rating of perceived exertion methods of defining exercise load in cyclists. *Journal of strength and conditioning research*, 26(8), 2249–2257. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a4233>
- Seo, J. W., Kim, D. H., Yang, S. T., Kang, D. W., Choi, J. S., Kim, J. H., y Tack, G. R. (2016). Differences in the Joint Movements and Muscle Activities of Novice according to Cycle Pedal Type. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 26(2), 237-242. <https://doi.org/10.5103/KJSB.2016.26.2.237>
- Silberman, M. R., Webner, D., Collina, S., y Shiple, B. J. (2005). Road bicycle fit. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 15(4), 271-276. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000171255.70156.da>
- Straw, A. H., y Kram, R. (2016). Effects of shoe type and shoe–pedal interface on the metabolic cost of bicycling. *Footwear Science*, 8(1), 19-22. <https://doi.org/10.1080/19424280.2016.1140817>
- Swart, J., y Holliday, W. (2019). Cycling Biomechanics Optimization-the (R) Evolution of Bicycle Fitting. *Current sports medicine reports*, 18(12), 490–496. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000665>
- Too D. (1990). Biomechanics of cycling and factors affecting performance. *Sports medicine*, 10(5), 286–302. <https://doi.org/10.2165/00007256-199010050-00002>

- Van Erp, T., Lamberts, R. P., y Sanders, D. (2022). Power Profile of Top 5 Results in World Tour Cycling Races. *International journal of sports physiology and performance*, 17(2), 203–209. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0081>
- Zaroso, M., Pérez, P. y Llana, S. (2015). LA BIOMECÁNICA EN EL CICLISMO en Pérez-Soriano, P., y Llana, S. (Coords.). (Ed.), *BIOMECÁNICA BÁSICA aplicada a la actividad física y el deporte*. Editorial Paidotribo.

8. ANEXOS

ANEXO 1



Consentimiento informado para participar en el estudio de TFG de Héctor Pascual Redondo

Yo,....., con NIF, declaro haber recibido y leído detenidamente la información proporcionada sobre el estudio experimental titulado " INFLUENCIA DEL TIPO DE PEDAL PLANO Y AUTOMÁTICO EN EL RENDIMIENTO FÍSICO DEL CICLISTA (SPRINT VS. CONTRARRELOJ) EN DIFERENTES TERRENOS (LLANO VS. ESCALADA): UN ESTUDIO PRELIMINAR.", elaborado por Héctor Pascual Redondo, estudiante del grado de Ciencias de la Actividad física y del Deporte de la Universidad de León como parte de su trabajo de fin de grado.

Comprendo y acepto voluntariamente participar en este estudio, que tiene como objetivo analizar cómo influye el uso de pedales planos y automáticos en el rendimiento físico del ciclista durante la realización de dos protocolos de ejercicios en dos días diferenciados por al menos 48 horas, en el que se realizarán diferentes sprint de 15 segundos de duración, y diferentes contrarrelojes individuales de 4 minutos de duración.

Entiendo que mi participación en este estudio implicará realizar esfuerzos máximos y supramáximos en bicicleta de carretera, mientras se registra y analiza información sobre mi rendimiento físico, como la frecuencia cardíaca, la potencia generada y otros datos relacionados. Además, soy consciente de que mi participación en este estudio implica ciertos riesgos inherentes al ejercicio físico intenso, como fatiga, lesiones musculares, posibles caídas o accidentes. Sin embargo, se tomarán todas las medidas necesarias para minimizar estos riesgos y se proporcionará supervisión adecuada durante las sesiones de entrenamiento. Además, eximo de cualquier responsabilidad derivada de la realización de estos ejercicios al responsable del estudio.

Acepto que mi participación en este estudio es voluntaria y entiendo que puedo retirarme en cualquier momento sin necesidad de justificación alguna. También comprendo que mi participación en el estudio implicará la recopilación y el tratamiento de mis datos personales y de rendimiento, y que se mantendrá la confidencialidad de esta información, garantizando mi anonimato en cualquier publicación o presentación resultante del estudio.

Por último, certifico que se me ha brindado la oportunidad de hacer preguntas y aclarar cualquier duda que haya surgido antes de firmar este consentimiento informado. Estoy de acuerdo en que se registre mi consentimiento para participar en este estudio.

Lugar y fecha:

En..... a de de 2023

Firma del participante:

ANEXO 2

Escala RPE utilizada:

	Escala de Borg	
0	Reposo	
1	Muy muy Suave	
2	Muy Suave	
3	Suave	
4	Algo Duro	
5	Duro	
6	Más Duro	
7	Muy Duro	
8	Muy muy Duro	
9	Máximo	
10	Extremadamente Máximo	

ANEXO 3

Tabla de resultados (Medias y desviaciones estándar).

	PEDAL PLANO SPRINT LLANO	PEDAL ATOMÁTICO SPRINT LLANO	PEDAL PLANO CRI SUBIDA	PEDAL AUTOMÁTICO CRI SUBIDA	PEDAL PLANO SPRINT SUBIDA	PEDAL AUTOMÁTICO SPRINT SUBIDA	PEDAL PLANO CRI LLANO	PEDAL AUTOMÁTICO CRI LLANO
Potencia media (W)	672,9 ± 21,6	930,2 ± 45,4	303,2 ± 33,3	337,6 ± 67,4	695,3 ± 25,2	903,1 ± 29,8	292,5 ± 45,2	322,6 ± 62,7
Potencia media relativa (W/kg)	10,5 ± 0,3	14,5 ± 0,8	4,7 ± 0,4	5,3 ± 1	10,9 ± 0,7	14,1 ± 0,7	4,6 ± 0,7	5 ± 1
Potencia máxima (W)	776 ± 34,9	1108,3 ± 54,4	653 ± 43	743 ± 60,4	818 ± 58,8	1109 ± 64,6	629,5 ± 43,7	814 ± 86,3
Potencia máxima relativa (W/kg)	12,1 ± 0,6	17,3 ± 0,8	10,2 ± 0,7	11,6 ± 0,6	12,8 ± 1,0	17,3 ± 1,1	9,8 ± 0,7	12,7 ± 1,4
Velocidad media (km/h)	33,8 ± 3,4	38 ± 1,4	24,4 ± 1,6	26,3 ± 3,1	30,2 ± 1	35 ± 4,4	41,3 ± 2	43,1 ± 1
Velocidad máxima (km/h)	42 ± 5,5	46,7 ± 2,6	33,6 ± 2,6	36 ± 3,1	37,6 ± 1,7	42,3 ± 4,2	48,2 ± 1,2	48,9 ± 2,1
Cadencia media (rpm/min)	90,3 ± 7,1	98,2 ± 7,4	85,2 ± 10,1	89,1 ± 7,9	93 ± 8	96,6 ± 4,1	82,3 ± 8,8	91,1 ± 6,1
Cadencia máxima (rpm/min)	106 ± 12,4	113,5 ± 13,4	106 ± 12,4	126 ± 39,7	112,3 ± 17,1	116 ± 6,1	102,8 ± 3,6	117,3 ± 10,8
FC media (ppm)	139 ± 25,6	149,3 ± 26,6	172,4 ± 11,5	171,9 ± 16,5	140,5 ± 26,5	145,5 ± 26,9	163 ± 22,8	159 ± 35,2
FC máxima (ppm)	153 ± 27	162,5 ± 29,8	182,5 ± 10,7	181,5 ± 17,5	153 ± 32,8	160,3 ± 33,1	173 ± 21,6	168,5 ± 38,3
RPE (1-10)	8,3 ± 1	8,3 ± 0,5	8,4 ± 0,5	8,8 ± 0,5	7,6 ± 0,5	8,3 ± 1	8,2 ± 1	8,6 ± 0,5

ANEXO 4

Porcentaje de diferencia en las 4 situaciones entre Pedal automático y plano:

$$(\text{Dato de pedal automático} - \text{Dato de Pedal plano}) * 100 / \text{Dato de Pedal plano}$$

	%DIF_Pa/Pp_SLL	%DIF_Pa/Pp_Ss	%DIF_Pa/Pp_CRILL	%DIF_Pa/Pp_CRIs
Potencia media	38.2	29.9	10.3	11.3
Potencia máxima	42.8	35.6	29.3	13.8
Velocidad media	12.3	15.7	4.4	7.7
Velocidad máxima	11.4	12.4	1.6	7.0
Cadencia media	8.7	3.9	10.8	4.5
Cadencia máxima	7.1	3.3	14.1	18.8
FC media	7.4	3.6	-2.5	-0.3
FC máxima	6.2	4.7	-2.6	-0.5
RPE	0.0	8.2	5.3	4.5

(%Dif: Porcentaje de diferencia; Pp: Pedal Plano; Pa: Pedal automático; Ss: Sprint subida; SLL: Sprint en llano; CRILL: Contrarreloj en llano; CRIs: Contrarreloj en llano)

Porcentaje de diferencia entre la realización de sprint y cri, en llano y en subida con pedales planos o automáticos:

$$(\text{Dato en subida} - \text{Dato en llano}) * 100 / \text{Dato en llano}$$

	%DIF_Pp_Ss/SLL	%DIF_Pa_Ss/SLL	%DIF_Pp_CRIs/CRILL	%DIF_Pa_CRIs/CRILL
Potencia media	3.3	-2.9	3.7	4.7
Potencia máxima	5.4	0.1	3.7	-8.7
Velocidad media	-10.6	-7.9	-40.8	-39.0
Velocidad máxima	-10.3	-9.5	-30.2	-26.5
Cadencia media	3.0	-1.6	3.6	-2.3
Cadencia máxima	5.9	2.2	3.2	7.4
FC media	1.1	-2.5	5.7	8.1
FC máxima	0.0	-1.4	5.5	7.7
RPE	-7.6	0.0	2.3	1.4

(%Dif: Porcentaje de diferencia; Pp: Pedal Plano; Pa: Pedal automático; Ss: Sprint subida; SLL: Sprint en llano; CRILL: Contrarreloj en llano; CRIs: Contrarreloj en llano)