



HEZKUNTZA
ETA KIROL
FAKULTATEA
FACULTAD
DE EDUCACIÓN
Y DEPORTE

TRABAJO FIN DE GRADO

DE SUB23 A PROFESIONAL: ESTUDIO DE CASO EN CICLISMO

Autor: Artolozaga Sarasola, Jokin

Director: Orbañanos Palacios, Javier

Grado: Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Curso Académico: 2021 - 2022

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	6
MÉTODO DE TRABAJO	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
SUJETO.....	6
RESULTADOS.....	7
EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL ENTRENAMIENTO.....	7
DISTANCIA	7
TIEMPO	9
GASTO ENERGÉTICO (kJ).....	11
Training Stress Score (TSS)	13
CTL, ATL Y TSB.....	15
DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES	18
EVOLUCIÓN DE PARÁMETROS DE RENDIMIENTO.....	23
PERFIL DE POTENCIA.....	23
PERFIL DE POTENCIA EN FATIGA (DURABILIDAD)	33
FACTOR DE EFICIENCIA (EF).....	36
CONCLUSIONES	40
LIMITACIONES.....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

INTRODUCCIÓN

El deporte de élite es un nivel al que sólo unos pocos deportistas consiguen llegar, aunque sean muchos los que lo intentan e invierten gran trabajo en ello. Con el objetivo de conseguirlo, se han realizado numerosos estudios analizando cuáles son los factores condicionales, la relación que hay entre ellos y cómo se pueden mejorar estos mediante distintas intervenciones de entrenamiento. Empezando por un análisis holístico del rendimiento deportivo, podemos decir que el rendimiento depende de una gran variedad de elementos, tanto internos como externos y que, por lo tanto, no podemos centrarnos solamente en una variable o un grupo de estas, sino que debemos tener una perspectiva mucho más global de todo el sistema (Belangué, 2011 & Glazier, 2017). En esta misma línea, y concretamente en el caso del ciclismo, nos encontramos con interesantes revisiones donde clasifican los factores implicados en el rendimiento como fisiológicos, mecánicos y psicológicos (Castronovo et al., 2013), e incluso con una perspectiva más holística, donde se diferencian factores fisiológicos, morfológicos, emocionales o cognitivos, tecnológicos, tácticos, estratégicos, factores de equipo, sociales y factores relacionados con la organización de las competiciones (Phillips et al., 2020). Una vez entendida la importancia de una visión holística del rendimiento, el presente estudio se centrará en las variables condicionales del rendimiento en ciclismo.

En cuanto a las principales variables fisiológicas, una de las principales revisiones sobre deportes de resistencia es la de Joyner y Coyle (2008) donde destacan el consumo máximo de oxígeno (VO₂max), el umbral de lactato, la eficiencia mecánica y la “capacidad anaeróbica” como las más determinantes del rendimiento. Estas a su vez, son divididas en factores más concretos también, como se puede observar en la imagen 1. Dependiendo de la disciplina la importancia de cada variable también será distinta, teniendo en cuenta la distinta contribución “aeróbica” o “anaeróbica” de cada una, donde la principal variable que afecta a esta es la intensidad de ejercicio, que depende a su vez de la duración de la prueba (Joyner et al., 2008).

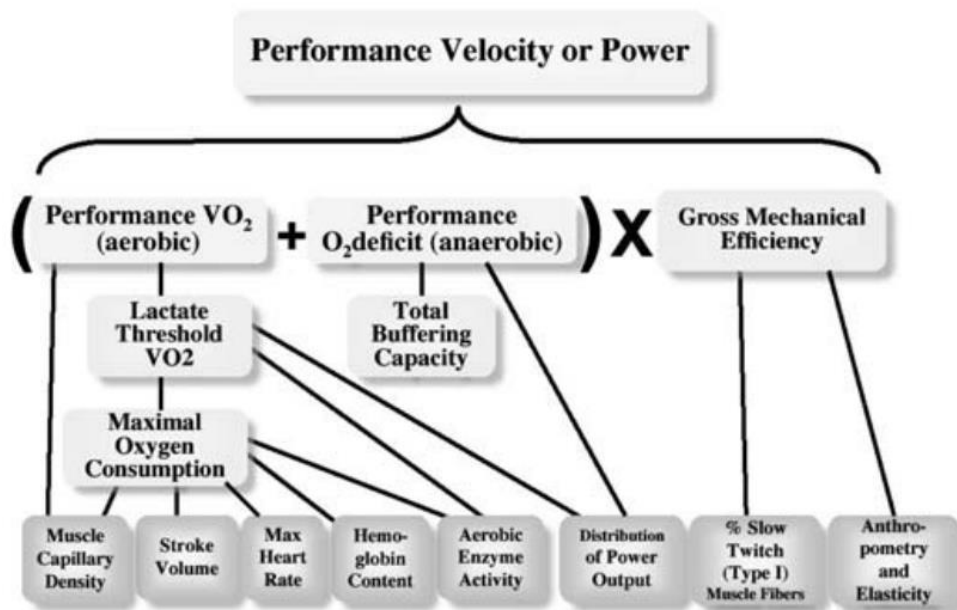


Imagen1: Representación de las principales variables fisiológicas responsables del rendimiento en deportes de resistencia (Joyner & Coyle, 2008)

Aunque esto es cierto en algunos deportes como el atletismo, la implicación metabólica no es tan clara en otros deportes como el ciclismo, donde la intensidad es mucho más variable o estocástica debido a distintos factores (recorrido, drafting, estrategia...). Así, dependiendo de las características de cada prueba, podemos observar importantes diferencias en cuanto a duración, intensidad, y tipo de esfuerzos tal y como se observa en la imagen 2 caracterizando, en este caso, a un ciclista sprinter (Mujika et al., 2001; Sanders & van Erp, 2020; van Erp et al., 2021). Incluso dentro de una misma disciplina como la contrarreloj, dependiendo de la duración de esta nos encontramos con muy distintas contribuciones metabólicas (Padilla et al., 2000). Teniendo en cuenta esto, los principales factores determinantes del rendimiento también cambian, dando lugar a la especialización tan característica del ciclismo, donde podemos encontrar perfiles de deportistas muy diferentes (Mujika et al., 2001). Por otro lado, aunque no se pueda acotar el ciclismo a una intensidad o capacidad fisiológica determinada, sí que se puede afirmar que el ciclismo es un deporte de resistencia cíclica, y que por mucha variedad que haya, tener una gran capacidad tanto oxidativa como glucolítica es una condición indispensable (Jeukendrup et al., 2000).

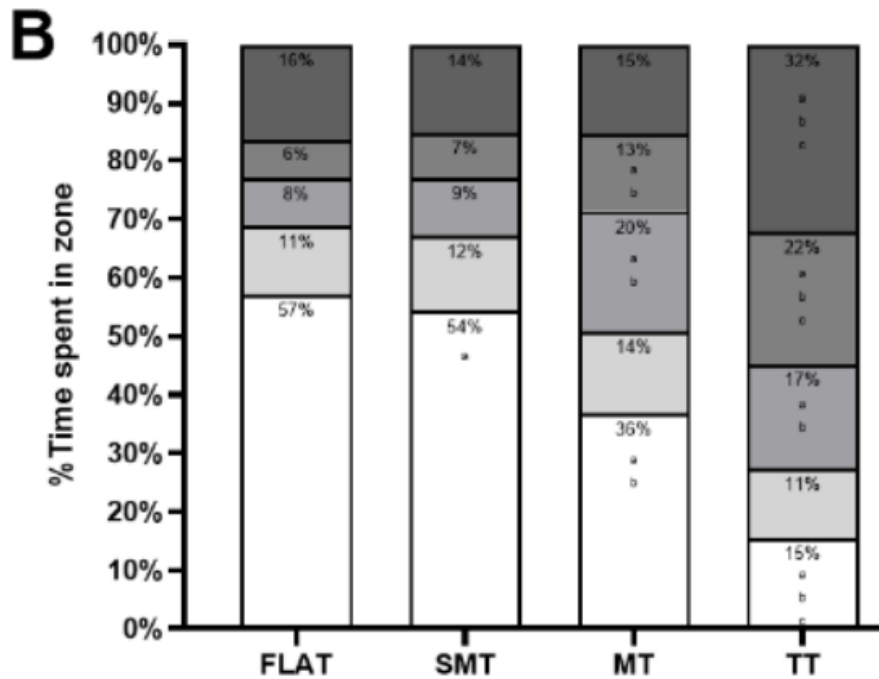


Imagen 2. Distribución de zonas de potencia en función del tipo de etapa de un sprinter en el Tour de Francia. FLAT: llana. SMT: media montaña. MT: alta montaña. TT: contrarreloj (van Erp & Lambrets, 2001)

Sabiendo que maximizar la capacidad oxidativa es una adaptación que requiere mucho tiempo de estímulo, llegar al alto rendimiento es un proceso que necesita varios años de entrenamiento (Jeukendrup et al., 2000). Esto va en línea con la revisión de Allen & Hopkins (2015) donde concluyeron que la edad en la que se da el máximo rendimiento en deportes de resistencia aumenta de forma proporcional a la duración de la competición. Por lo tanto es necesaria una planificación a largo plazo y de esta manera asegurarse de que en este proceso se cumplen con principios básicos del entrenamiento como la sobrecarga progresiva, el estímulo efectivo y la especialización. Un modelo clásico de periodización a largo plazo es el denominado “Desarrollo de Atletas a Largo Plazo” o “Long Term Athlete Development” (LTAD), creado y aplicado en Canadá (Government of Canada, 2016). Este distingue distintas fases de desarrollo deportivo en las que se produce una progresiva especialización y los contenidos de entrenamiento también se ajustan al desarrollo físico del sujeto, aprovechando los “periodos sensitivos” que se dan en este proceso. Si bien es cierto que este modelo también ha sido criticado por distintas razones como una falta de trabajo de fuerza (Lloyd et al., 2015ab) o falta de individualización (Lang & Light, 2010), sí que puede ofrecer una referencia general sobre la progresión a llevar. En el caso del presente estudio, siguiendo el modelo LTAD (Government of Canada, 2016) nos encontramos en la última fase llamada “competir para ganar” donde el objetivo es el de maximizar el rendimiento en una disciplina específica.

Aunque no hay duda de que el principio de progresión es indispensable en una planificación a largo plazo, pocos estudios de caso han demostrado cómo ha sido aplicado. Un interesante estudio centrado en una de las esquiadoras de fondo más exitosas de los últimos años observó un progresivo aumento del volumen de entrenamiento al igual que un cambio en la distribución de intensidades dándose el mayor volumen de entrenamiento acompañado de una periodización tradicional en los años más exitosos (Solli et al., 2017). En el contexto del ciclismo, Pinot & Grappe (2015) analizaron la progresión de un ciclista desde la categoría juvenil hasta profesional llegando a disputar una gran vuelta. Este estudio también mostró un aumento progresivo del volumen y carga de entrenamiento (desde 14733km hasta 29383km) al igual que una gran mejora de potencia absoluta y relativa en un gran rango de duraciones.

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio de caso es el de analizar la evolución de los datos de entrenamiento y los valores de rendimiento obtenidos por un ciclista a lo largo de 7 años, desde el primer año de la categoría sub23 (2014) hasta la categoría de Continental Profesional (2021). Para ello, se van a analizar distintas variables para así tener una visión lo más holística posible del proceso.

MÉTODO DE TRABAJO

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio de caso analiza siete temporadas (desde 2014 – 2015 hasta 2020 – 2021) de un ciclista, pasando por distintas categorías de ciclismo (sub23, Continental y Continental Profesional). Para ello, se han analizado 2355 entrenamientos mediante una plataforma específica de análisis de datos (WKO5, Build 576, TrainingPeaks LLC, Boulder CO). En caso de datos erróneos como entrenamientos doblados o valores de potencia fuera de lo normal estos han sido analizados y borrados manualmente.

SUJETO

La edad del sujeto durante el periodo analizado abarca desde los 18 a los 25 años, pasando por distintas categorías ciclistas: los primeros tres en la categoría sub23, las dos siguientes en la categoría Continental y las dos últimas como Continental Profesional. Los datos antropométricos se han mantenido constantes a lo largo del estudio, encontrándose alrededor de 62,8kg durante el periodo competitivo y 64kg fuera de temporada.

Un aspecto a tener en cuenta, es que a lo largo de todo el estudio el sujeto se ha mantenido en la misma estructura deportiva y ha trabajado con el mismo entrenador, por lo que los cambios en los resultados de un año a otro no se deben a un cambio en estas dos variables.

RESULTADOS

EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL ENTRENAMIENTO

DISTANCIA

En el presente estudio, la distancia fue siempre medida mediante el GPS del ciclocomputador personal del sujeto. La distancia es uno de los principales datos que se suelen valorar al analizar el volumen de entrenamiento de ciclistas, encontrando distancias de entre 25.000 y 40.000km/temporada en distintos estudios (Lucía et al., 2001; Schumacher & Mueller, 2002 & Pinot & Grappe, 2015) por lo que creemos que es interesante observar la progresión que se haya dado en esta variable. Uno de los aspectos a tener en cuenta al analizar la distancia, es que dependiendo de distintos factores externos (condiciones climáticas, drafting, recorrido...) puede variar mucho la velocidad media del entrenamiento y por lo tanto la distancia recorrida en un mismo tiempo también. Por ello, analizar la distancia como único indicador del volumen de entrenamiento puede llevarnos a errores importantes, por lo que debe ser un parámetro complementado por otros, principalmente el tiempo. Por otro lado, teniendo en cuenta la escala del presente estudio (2355 entrenamientos, repartidos en 7 años), este error no es tan significativo al comparar tantos entrenamientos en un contexto parecido (mismo lugar residencia...).

El alto volumen de entrenamiento a baja intensidad (inferior al VT1 o LT1) ha mostrado tener gran importancia en algunas adaptaciones del entrenamiento de resistencia como la biogénesis mitocondrial y angiogénesis, adaptaciones que al contrario de las conseguidas mediante el entrenamiento de alta intensidad parecen mantenerse a largo plazo. Por lo tanto, el volumen de entrenamiento se considera fundamental en la periodización a largo plazo de un deportista (Seiler, 2010). El entrenamiento de alto volumen y baja intensidad tiene menor impacto sobre el sistema nervioso central, encontrando una menor activación simpática y una recuperación mucho más rápida de esta, si la intensidad es menor al VT1 (Seiler et al., 2007). Teniendo en cuenta que la sobre-activación simpática es uno de los principales marcadores de sobreentrenamiento, parece ser que el margen de progresión atribuible al aumento del volumen es mayor que mediante el aumento de intensidad. Esto va de la mano de estudios longitudinales como el de Pinnot y Grappe (2015), donde

se observa un aumento de la distancia recorrida a lo largo de seis años de un ciclista que llegó a disputar una gran vuelta.

En este estudio, también se puede observar un aumento progresivo de la distancia recorrida, aunque es cierto que esta progresión no es tan lineal como se podría pensar en un principio (Gráfico 1). En cuanto a la distancia total de cada año (Tabla 1), se observa un mayor aumento en los tres primeros años, donde pasa de recorrer 17454km el segundo año de sub23 a 25196km en el primer año de la categoría continental, con aumentos de 14,91% y 18,59% respecto al año anterior. De esta manera, el primer año en el que el sujeto fue profesional, ya entró en el rango de distancia descrita por Lucía et al (2001). Una vez llegado a semejante volumen de entrenamiento, es normal que esta progresión se modere teniendo en cuenta la fatiga que genera el entrenamiento. De todas maneras, aunque sea menos significativo, la distancia sigue en aumento, llegando a los 29659km el último año. Otro interesante aspecto que se puede observar, es que el año 2019-2020 (Categoría Continental Profesional y 23-24 años), la distancia total es menor respecto al año anterior, yendo en contra de la progresión que se podría esperar. Sin embargo, esta no es más que la consecuencia de la pandemia mundial por COVID – 19 y su consecuente confinamiento. El análisis de cada mes nos permite ver que en Marzo y Abril la distancia recorrida es mínima respecto al año anterior (2452 vs 864 y 2497 vs 123, respectivamente), totalmente normal teniendo en cuenta que el ciclista cuantificó la distancia mediante GPS y este entrenó en rodillo durante varias semanas.

Año	Edad	Categoría	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	TOTAL
2015	18-19	sub23 - 1					149	1897	2123	1741	2109	1703	528		10250
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	682	1.453	1.749	1.677	1.911	1.693	2.126	1.778	1.537	1.314	1.534		17454
			100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	92,20%	-12,05%	0,14%	2,08%	-37,22%	-29,60%	65,58%	#DIV/0!	41,27%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	966	1.818	1.909	1.936	2.085	1.919	2.281	2.024	1.944	1.846	1.570	214	20512
			29,40%	20,08%	8,38%	13,38%	8,35%	11,78%	6,80%	12,15%	20,94%	28,82%	2,29%	100,00%	14,91%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	1.799	2.389	2.293	1.787	2.656	2.404	2.156	2.411	2.646	2.666	1.712	277	25196
			46,30%	23,90%	16,75%	-8,34%	21,50%	20,17%	-5,80%	16,05%	26,53%	30,76%	8,29%	22,74%	18,59%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	1.753	2.730	2.411	2.407	2.452	2.497	2.206	2.464	2.005	2.768	1.994	177	25864
			-2,62%	12,49%	4,89%	25,76%	-8,32%	3,72%	2,27%	2,15%	-31,97%	3,68%	14,14%	-56,50%	2,58%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro (1)	1.759	2.529	2.575	2.713	864	123	2.729	2.404	2.856	2.498	2.654	1.262	24966
			0,34%	-7,95%	6,37%	11,28%	-183,80%	-1930,08%	19,16%	-2,50%	29,80%	-10,81%	24,87%	85,97%	-3,60%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro (2)	1.611	2.532	2.642	2.301	2.748	2.691	2.441	2.627	2.922	3.750	2.825	569	29659
			-9,19%	0,12%	2,54%	-17,91%	68,56%	95,43%	-11,80%	8,49%	2,26%	33,39%	6,05%	-121,79%	15,82%

Tabla 1: Distancia recorrida en cada mes del año, dividido en temporadas. En las casillas blancas se encuentra la distancia en kilómetros mientras que la casilla gris refleja la diferencia respecto al año anterior.

Siguiendo con el análisis de cada mes, otro aspecto a destacar es la gran distancia recorrida el mes de agosto del último año del estudio (segundo año de la categoría Continental Profesional, con 3750km). Esto se debe a que el sujeto compitió en la vuelta a España de 2021, entre el 14 de Agosto y 5 de Septiembre, recorriendo 3417km en 21 etapas. Tal y como veremos más adelante, este hecho tiene efecto directo sobre otras métricas también.

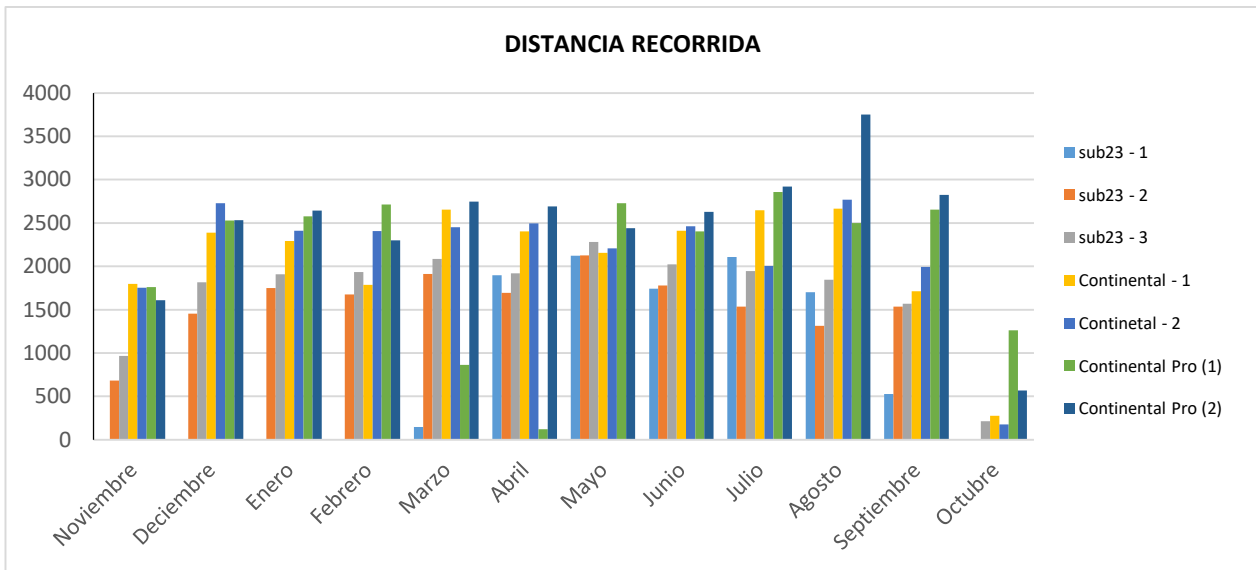


Gráfico 1: Distancia recorrida por mes a lo largo del estudio.

TIEMPO

El tiempo también es una métrica muy utilizada en la monitorización del volumen de entrenamiento, teniendo en cuenta que varias de las adaptaciones al entrenamiento dependen del tiempo bajo estímulo (Seiler, 2010; Goffey & Mujika, 2012). El tiempo además suele ser el indicador de volumen utilizado en otras métricas que más tarde se van a explicar, por lo que tiene un rol fundamental en el análisis del entrenamiento. Al igual que en la distancia, es esperable que el tiempo acumulado también vaya en aumento año tras año, con el fin de seguir consiguiendo el suficiente estímulo como para que se den adaptaciones positivas. El Gráfico 2 analiza el tiempo de entrenamiento total de cada temporada, confirmando lo expuesto. A igual que en el caso de la distancia, se observa un aumento brusco de la duración total del entrenamiento en los años de sub23, mientras que una vez pasa a profesionales esta progresión es más moderada (aunque siga subiendo), probablemente al estar cerca del máximo volumen recuperable. Este gráfico también demuestra que aunque la distancia fue menor en la temporada de Continental Profesional (1), la duración del entrenamiento fue mayor, demostrando que durante esta temporada el sujeto realizó una importante cantidad de entrenamientos en el rodillo y que estos entrenamientos no contabilizaron en el apartado de la distancia.

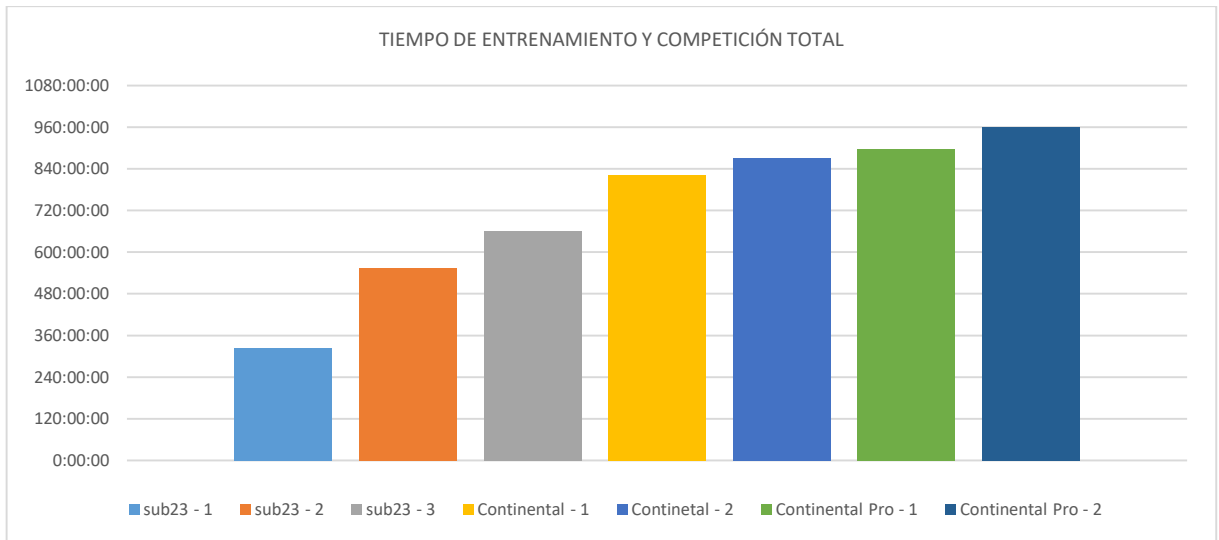


Gráfico 2. Tiempo total de entrenamiento y competición distribuido en temporadas.

El análisis mes a mes (Gráfico 3) permite ver cómo ha sido la distribución de cada mes en cada temporada. Este, permite observar que hay una importante diferencia en el final de temporada entre las distintas categorías. Primero, se ve que la categoría sub23 es la primera en terminar, al observar un importante descenso en septiembre. Tras este, en la categoría Continental no hay prácticamente tiempo acumulado en octubre, por lo que se puede concluir que este mes tampoco tubo competiciones o entrenamientos. Por otro lado, durante los años de la categoría Continental Profesional, se sigue entrenando y compitiendo. Por lo tanto, se puede concluir que a medida que aumenta la categoría, también lo hace la duración de la temporada. Un aspecto que tiene influencia directa sobre el entrenamiento y la periodización a llevar a cabo.

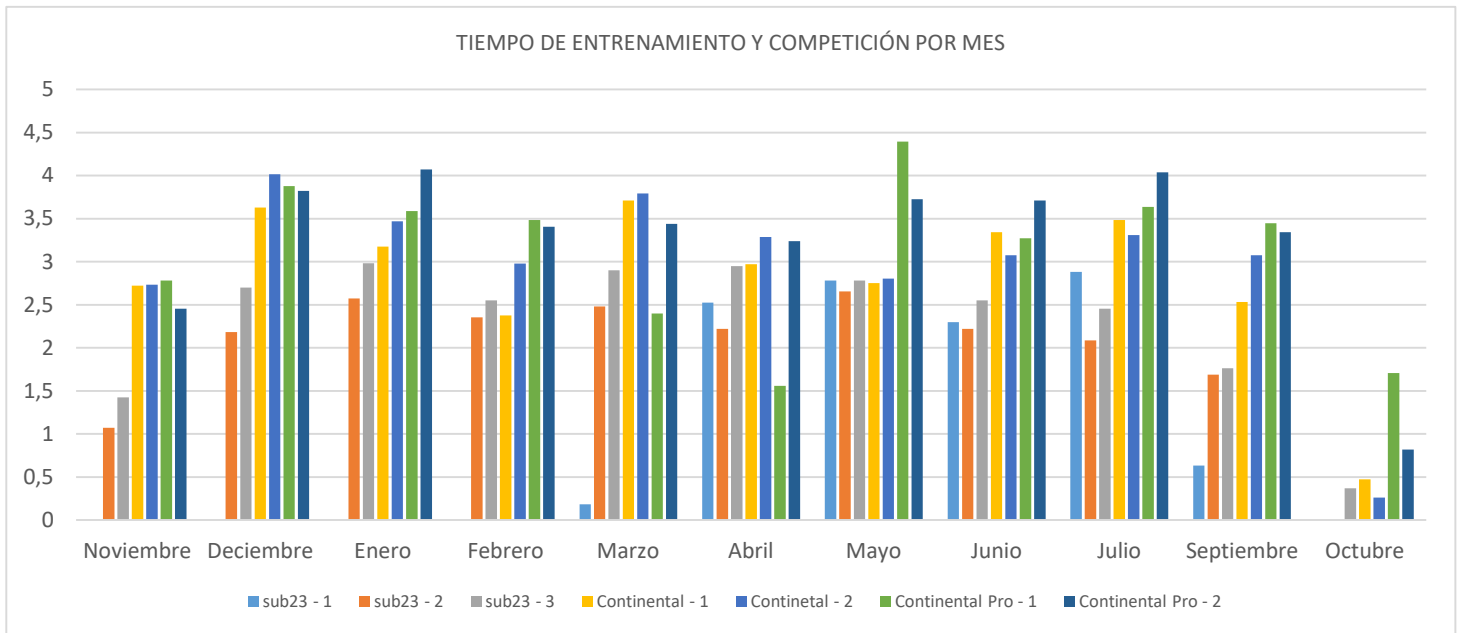


Gráfico 3: Tiempo de entrenamiento y competición acumulado por mes.

GASTO ENERGÉTICO (kJ)

El gasto energético se mide mediante la fuerza aplicada sobre el pedal, gracias al potenciómetro, medido en Julios. Teniendo en cuenta que un vatio (w) equivale a un Julio por segundo, el potenciómetro puede aportar gran información sobre la energía mecánica que se ha realizado sobre el pedal. Este parámetro de carga externa puede ser interesante, ya que además de tener en cuenta el volumen de entrenamiento, también influye la intensidad (potencia media generada). De hecho, un reciente estudio encontró una alta correlación entre kJ, TSS y sRPE tanto durante el entrenamiento como en competición en ciclistas profesionales, aunque también es cierto que observaron que este parámetro reacciona menos ante la alta intensidad (medida mediante IF) que otros parámetros (van Erp et al., 2019 a, b). Además de cuantificar la carga de entrenamiento, tal y como se explicará más tarde (Sección “Perfil de Potencia en Fatiga”), esta métrica también se puede utilizar como indicador del trabajo realizado y por lo tanto la fatiga acumulada dentro de la propia sesión.

Conocer el gasto energético puede aportar gran información de cara al consumo también, teniendo en cuenta el alto gasto que se da en ciclistas y los efectos adversos que se observan tras periodos de baja disponibilidad energética, tanto en rendimiento como en salud (Hackney, 2020 & Nattiv et al., 2021). Como la eficiencia de pedaleo suele rondar el 25% (perdiendo el 75% restante en forma de calor) en los ciclistas y que este parámetro no suele variar mucho, conocer la energía

mecánica generada permite estimar el gasto energético derivado del entrenamiento (Cheung & Zabala, 2018). Una vez conocido este dato, se pueden abordar estrategias nutricionales específicas, dependiendo del objetivo a seguir (Impey et al., 2018 & Stellingwerff et al., 2019). Cabe destacar, que el ciclismo de carretera es uno de los deportes donde mayores gastos energéticos se dan, encontrando valores máximos de 8604kJ y medios de 5736Kj durante el Tour de Francia (Saris et al., 1989). Por lo que es importante prestarle suficiente atención si no se quiere llegar a un estado de importante déficit energético.

Al tratarse de una métrica derivada del sensor de potencia, en caso de que no se utilice este (sin batería, avería...) no se contabilizan los Júlíos. Esto, puede llevar a malinterpretar datos, ya que aunque no se midan los Júlíos por ausencia de potenciómetro, el gasto energético sigue siendo el mismo. Esta es la explicación por la que tal y como vemos en el Gráfico 4, encontramos algunos meses con un gasto muy bajo. Durante estos meses, el sujeto no disponía del potenciómetro, por lo que no se cuantificó la métrica. Analizando los datos por mes y temporada (Gráfico 4), se ve que este error es especialmente importante el segundo año de Continental (meses de febrero, junio y julio). Esto es más evidente teniendo en cuenta que la métrica está muy relacionada con el volumen de entrenamiento y tanto la duración (sección “Tiempo”) y la distancia (sección “Distancia”) anteriormente analizados son mayores este año respecto al anterior, mientras que los kJ son menores. Con el objetivo de confirmar lo explicado, un análisis de cada sesión reveló que el sujeto no tuvo potenciómetro en la bicicleta de competición durante estos meses, dando lugar a una falta de cuantificación de la variable.

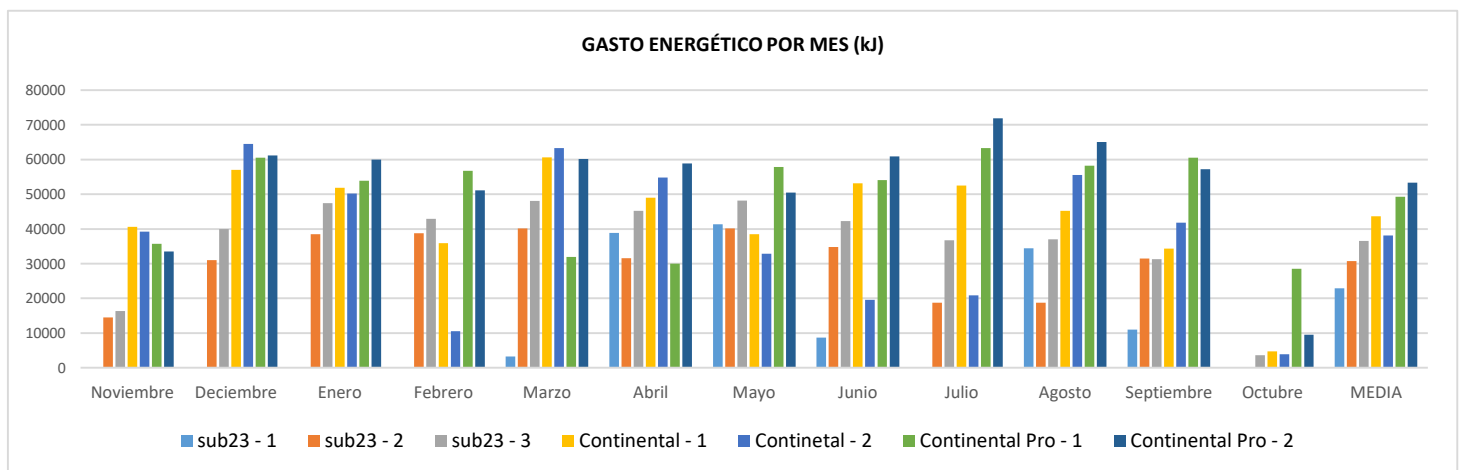


Gráfico 4: Gasto energético por mes y temporada, medido en kilojulios (kJ).

Dejando de lado el error descrito, se puede observar un aumento progresivo del gasto energético año tras año, cumpliendo con el principio de progresión descrito en la introducción. Entendiendo cómo se calcula esta variable (Julio x segundo) esta progresión, se ha podido dar tanto por un aumento del volumen previamente descrito (tiempo) como la intensidad media (potencia media).

Training Stress Score (TSS)

El Training Stress Score (TSS) es una puntuación que surge con el fin de cuantificar la carga de entrenamiento, y trata de estimar la carga interna que ha supuesto un entrenamiento (Allen & Coggan, 2010). Esta es seguramente la métrica más utilizada en el mundo del ciclismo para cuantificar la carga de entrenamiento hoy en día. Aunque es cierto que puede ser muy cómodo a la hora de cuantificar la carga, también hay que tener en cuenta algunos importantes inconvenientes. El principal problema puede ser que la ecuación establece una relación cuadrática con la intensidad de entrenamiento, mientras que se ha visto que otros marcadores de carga interna como el VO₂, lactato o RPE no lo tienen (Van Erp et al., 2019). Otro aspecto a tener en cuenta es que como se puede observar en la ecuación 1, el volumen de entrenamiento (t) tiene gran influencia sobre el resultado, mientras que se ha visto que la intensidad del entrenamiento tiene una mayor influencia sobre marcadores de carga interna, como el sistema nervioso autónomo (Seiler 2007). Por lo tanto, el TSS puede sobreestimar la carga de entrenamiento si el volumen es alto e infraestimarla cuando el volumen es bajo, aunque la intensidad sea máxima. Un último aspecto a tener en cuenta es que para que esta métrica sea suficientemente válida, es importante que el FTP esté correctamente ajustado, ya que es el valor sobre el que se centra toda la ecuación.

$$TSS = \left(\frac{t * NP * IF}{FTP * 3600} \right) * 100$$

Ecuación 1. Ecuación del training Stress Score (TSS). t: duración. NP: potencia normalizada. FTP: umbral de potencia funcional.

$$NP = \sqrt[4]{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i^4}$$

Ecuación 2. Ecuación que permite el cálculo de la Potencia Normalizada.

$$IF = \left(\frac{NP}{FTP} \right)$$

Ecuación 3. Cálculo del Factor de Eficiencia (IF).

Una vez entendidas sus limitaciones, cabe destacar que el TSS ha demostrado ser más sensible al aumento de la intensidad de entrenamiento (medido mediante IF) que otras métricas como los kJ o luTRIMP (van Erp et al., 2019 b) y mostrar mayores diferencias entre competición y entrenamiento (van Erp et al., 2019 a).

En el caso de no contar con un sensor de potencia, se utilizan los datos de frecuencia cardíaca (Fc) cambiando la NP por Fc media y utilizando el valor predeterminado de Fc al umbral. De esta manera, se puede seguir cuantificando la carga aunque no se disponga de potenciómetro.

Tal y como se podía esperar, el TSS sigue la misma dinámica descrita en las anteriores variables, aumentando de forma progresiva a medida que pasan los años (Gráfico 5). Otro aspecto a destacar es el alto valor acumulado los meses de julio y agosto en el segundo año de la categoría Continental Profesional (Continental Pro – 2). Esto se debe a que el sujeto compitió en la Vuelta a España 2021, demostrando la gran carga que supone una vuelta de tres semanas.

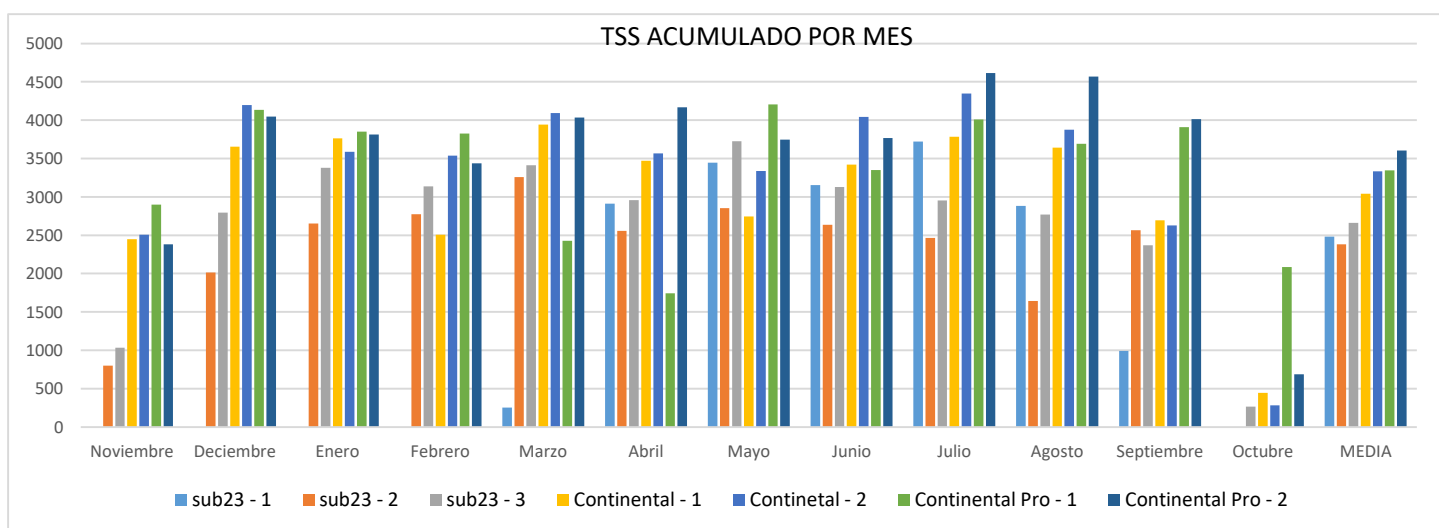


Gráfico 5: Training Stress Score (TSS) acumulado por mes.

Con el objetivo de cuantificar la progresión, la Tabla 2 permite analizar el TSS de cada mes y la diferencia respecto al mismo periodo del año anterior, al igual que la media de cada temporada.

Año	Edad	Categoría	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	MEDIA
2015	18-19	sub23 - 1					252	2913	3445	3154	3723	2883	990		2480
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	800	2016	2654	2772	3257	2556	2852	2635	2467	1644	2564		2383
			100%	100%	100%	100%	92%	-14%	-21%	-20%	-51%	-75%	61%		-4,1%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	1034	2794	3380	3138	3412	2957	3726	3127	2953	2771	2369	264	2660
			23%	28%	21%	12%	5%	14%	23%	16%	16%	41%	-8%	100%	10,4%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	2.448	3.655	3.765	2.508	3.944	3.469	2.744	3.419	3.782	3.644	2.693	444	3043
			58%	24%	10%	-25%	13%	15%	-36%	9%	22%	24%	12%	41%	12,6%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	2508	4198	3587	3539	4093	3566	3339	4044	4349	3874	2627	281	3334
			2%	13%	-5%	29%	4%	3%	18%	15%	13%	6%	-3%	-58%	8,7%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	2899	4133	3849	3827	2428	1742	4206	3349	4009	3692	3909	2087	3344
			13%	-2%	7%	8%	-69%	-105%	21%	-21%	-8%	-5%	33%	87%	0,3%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	2381	4048	3813	3437	4033	4167	3745	3769	4614	4568	4015	685	3606
			-22%	-2%	-1%	-11%	40%	58%	-12%	11%	13%	19%	3%	-205%	7,3%

Tabla 2: Análisis del TSS acumulado por mes (cuadro blanco) y diferencia respecto al año anterior (cuadro gris).

Un interesante aspecto es que los valores en el primer año son mayores en comparación con los del segundo año, llenando en contra de la progresión que cabría esperar. Como el análisis del volumen de entrenamiento (tiempo y distancia) no muestra diferencias de la misma magnitud que el TSS (aunque sí que hay un importante descenso en la distancia como se observa en la Tabla 1), esto puede deberse a una mayor intensidad (medido como IF) el primer año. Como el FTP ha sido calculado en base al mejor registro de 20' de cada año, es posible que al utilizar un valor de 20' más bajo de lo que realmente el sujeto era capaz, se haya infraestimado el FTP, teniendo efecto directo sobre la IF y el TSS.

CTL, ATL Y TSB

Una vez obtenido un valor numérico de la carga de entrenamiento mediante el TSS, distintas ecuaciones permiten estimar la carga aguda, crónica y el balance entre estas dos. Este método de cuantificación de la carga de entrenamiento está basado en el modelo de impulso – respuesta propuesto por Banister (Banister et al., 1975). Muy brevemente explicado, la carga de entrenamiento tiene como consecuencia directa una serie de adaptaciones positivas (una mejor condición física) y al mismo tiempo también crea una fatiga, con lo que en primera instancia no hay un aumento del rendimiento, ya que el balance de adaptaciones y fatiga es negativo (el aumento de la fatiga es mayor que el de la condición física). Por otro lado, al bajar la carga de entrenamiento, la fatiga también se disipa más rápido que las adaptaciones positivas, con lo que conseguimos un mejor rendimiento (mejor relación adaptaciones/fatiga). De esta forma, utilizando el TSS como valor de carga de entrenamiento, podemos conseguir las siguientes métricas (Allen & Coggan, 2010):

- **Carga Crónica de Entrenamiento (CTL):** El CTL es el valor de la media móvil exponencialmente ponderada de los TSS diarios en el rango de los últimos 42 días (seis semanas).

- **Carga Aguda de Entrenamiento (ATL):** Al igual que el CTL, esta métrica nos aporta información de la media móvil exponencialmente ponderada de los TSS diarios, sólo que en este caso al tratarse de la carga aguda, utiliza el rango de los últimos siete días (una semana).
- **Equilibrio de la Carga de Entrenamiento (TSB):** Tal y como indica el nombre, se refiere al bance entre la carga aguda y crónica. $TSB = CTL - ATL$.

Según este método, el máximo rendimiento sería la consecuencia de una alta condición física (medido como CTL) al mismo tiempo en hay un correcto equilibrio entre carga aguda y crónica (medido como TSB).

Sanders et al., (2016) encontraron una buena correlación entre el CTL y mejoras en los valores de potencia en 2mmol/L y 4mmol/L ($r = 0,75$ y $r = 0,79$, respectivamente) en el periodo preparatorio general de ciclistas profesionales, concluyendo que esta puede ser una buena métrica para analizar fitness aeróbico. Por otro lado, no se observó tan estrecha correlación con el test de rendimiento, medido mediante un test de 8 minutos ($r = 0,61$).

Otro posible uso puede ser la identificación del aumento de riesgo de lesión y enfermedad. En este sentido, van Erp et al., (2021 b) encontraron relación entre la alta carga de entrenamiento y el riesgo de lesión por sobreuso en ciclistas profesionales, aunque utilizaron otro método de cuantificación basado en la percepción de esfuerzo y no en el TSS.

Analizando el Gráfico 6, observamos la trayectoria que han tenido estas métricas a lo largo del estudio. Tal y como se observa, el CTL (línea azul) y ATL (línea rosa) tienen un aumento brusco al principio de cada temporada ya que el sujeto viene de una fase de transición donde estos valores bajan en picado. Por otro lado, una vez se alcanza un alto CTL (a la altura de febrero, coincidiendo con el inicio de temporada) este se estabiliza o modera su subida. Este resultado no es de extrañar, teniendo en cuenta que una vez se inicia la temporada la alta exigencia de las competiciones no suele dar margen a entrenar tanto como antes. Además, cuanto mayor es el CTL, más difícil es seguir aumentando este, teniendo en cuenta que el deportista debe seguir aumentando el TSS de sus entrenamientos para aumentar dicha métrica. Esto podría llevar al sobre entrenamiento, ya que el sujeto seguramente se encuentre cerca del máximo estímulo del que se pueda recuperar.

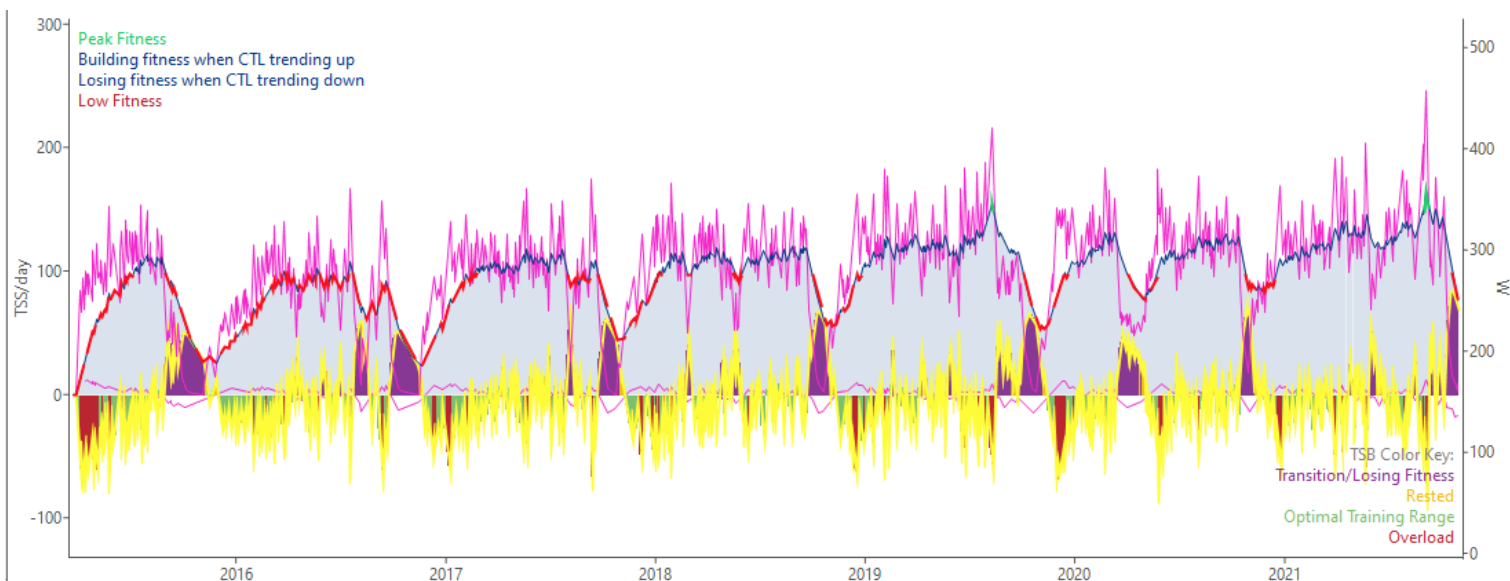


Gráfico 6: Gráfico PMC (Performance Manager Chart). Línea azul: CTL. Línea rosa: ATL. Línea amarilla: TSB. La línea roja indica un bajo CTL en comparación con el resto de valores del rango, mientras que línea verde indica valores máximos. Los sombreados morados indican fases de gran bajada de TSS (alto TSB) y los rojos subidas pronunciadas de TSS (bajo TSB). Obtenido mediante WKO5.

Tras un análisis visual del Gráfico 6, los valores más representativos se muestran en la Tabla 3. En esta, se observa cómo los valores medios durante la fase competitiva siguen un aumento progresivo año tras año, al igual que en los máximos, aunque es cierto que este no es tan claro. En cuanto al ATL, no se observa una muy clara progresión, aunque sí que los valores más altos se encuentran en los últimos años. Cabe destacar que el valor máximo de 244 (donde también se encuentran el máximo CTL histórico y mínimo TSB) coincide con las fechas de la Vuelta a España de 2021, demostrando una vez más la altísima demanda de esta carrera. El segundo momento de máximo ATL (216TSS/día) se encuentra en la Volta a Portugal, reivindicando este también su dureza.

		CTL			ATL	TSB
		Medio	Mínimo	Máximo	Máximo	Mínimo
2015 - 2016	Sub23 (2)	90 - 100	27	108	166	-68
2016 - 2017	Sub23 (3)	100 - 110	23	116	175	-67
2017 - 2018	Continental (1)	110 - 115	45	118	172	-57
2018 - 2019	Continental (2)	120 - 125	56	156	216	-65
2019 - 2020	Continental Pro (1)	120 - 125	54	131	185	-77
2020 - 2021	Continental Pro (2)	125 - 135	84	161	244	-82

Tabla 3: Resumen del CTL, ATL y TSB de cada temporada.

DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES

Una vez analizado las variables más relacionadas con el volumen de entrenamiento, es interesante analizar la distribución de las diferentes intensidades de entrenamiento y competición. Teniendo en cuenta que dependiendo de la intensidad del entrenamiento se enfatiza más o menos es distintas vías metabólicas (Coffey & Mujika, 2012), no se puede dejar de lado su importancia. Para poder analizar esta variable, es necesario acotar la intensidad en distintos rangos de intensidad y así poder obtener un tiempo acumulado en cada zona. Para ello, es importante crear unas zonas de intensidad individual de cada deportista, ya que la intensidad (entendida como el esfuerzo que realiza el sujeto) dependerá de las capacidades que este tenga. De esta manera, los distintos modelos de zonas de entrenamiento se suelen centrar en algún dato fisiológico individual (valores de lactato, ventilación, potencia) y en base a este se dividen las zonas. A la hora de realizar esta clasificación, se pueden utilizar distintos criterios, como clasificar en función del tiempo acumulado o en función del objetivo del entrenamiento. El problema de clasificar en función del tiempo acumulado es que los deportistas son capaces de acumular muy poco tiempo intensidades severas, por la alta demanda fisiológica de esta. Por ello, entrenamientos enfocados a la alta intensidad siguen teniendo su mayor proporción de tiempo a baja intensidad, pudiendo infra estimar el trabajo de alta intensidad. Este problema es aún mayor en el caso del ciclismo, al encontrarnos en un deporte donde el volumen de entrenamiento es tan alto. De todas formas, entendiendo esta limitación, este estudio se centrará en la clasificación según el tiempo acumulado por ser el más analizado en la literatura científica. Dos de los principales modelos son los siguientes:

- **Modelo tradicional (Allen & Coggan, 2010):** Según este modelo podemos diferenciar las siguientes 6 zonas de entrenamiento en base al FTP: Z1 (<55%), Z2 (56 -76%), Z3 (76 – 90%), Z4 (91 – 106%), Z5 (106 - 120%) y Z6 (>121%).
- **Modelo trifásico:** Los principales modelos de periodización, suelen ser clasificados mediante una distribución en tres zonas, para sí tener una visión más general de estas (Seiler & Mujika, 2012). De esta manera, se pueden distinguir la intensidad “ligera” (Z1), “moderada” (Z2) y “severa” (Z3), siendo la intensidad moderada la zona “inter-umbral”. La división de las zonas, se suele hacer mediante el análisis de los umbrales de lactato (LT1 y LT2) o umbrales ventilatorios (VT1 y VT2), marcando el punto de corte entre Z1 y Z2, y Z2y Z3, respectivamente (Seiler, 2010). En nuestro caso, al no contar con dichos valores de lactato, ni ventilatorios, hemos utilizado el FTP como indicador del umbral. De esta manera, hemos simplificado el modelo tradicional de seis zonas, dividiéndolas en tres de la siguiente manera: Intensidad

ligera (Z1 + Z2 + Z3 del modelo tradicional), Intensidad moderada (Z4 del modelo tradicional) e Intensidad severa (Z5 + Z6 del modelo tradicional).

La distribución de intensidades es un tema que suele generar discusión entre los profesionales del sector, pudiendo clasificar el modelo de periodización utilizado en función de esta. Según esta clasificación, basados en el modelo trifásico, las principales distribuciones son las siguientes:

- Distribución piramidal: Se acumula gran cantidad de tiempo en la primera zona (ligera), con una menor cantidad en la zona entre los umbrales (moderada) y aún menos en la zona severa. Esta distribución ha sido observada tanto en competición (Lucía et al., 2003 & Sanders et al., 2019) como en el entrenamiento de ciclistas profesionales masculinos (van Erp 2019 c).
- Distribución enfocado en el umbral: Este método enfatiza sobre el trabajo entre umbral (intensidad moderada) con una menor cantidad de tiempo en la intensidad ligera y muy poco sobre la intensidad severa. Este enfoque puede tener sentido en ciclistas centrados en grandes vueltas, teniendo en cuenta que los esfuerzos más determinantes se dan a esta intensidad (van Erp et al., 2020) y también ha sido encontrada en ciclistas sub 23 (Leo et al., 2020). Por otro lado, también ha sido muy criticada teniendo en cuenta que se acumula gran trabajo por encima del primer umbral, causando gran impacto sobre el sistema nervioso central (Seiler et al., 2007) pero sin llegar a estimular totalmente el sistema aeróbico, por lo que podría llevar al estancamiento (Laursen & Jenkins, 2002) o sobre entrenamiento (Seiler, 2010).
- Distribución polarizada: Tras el análisis global de distintos deportes de resistencia, se ha observado que muchos de los atletas más exitosos han seguido una distribución polarizada del entrenamiento, acumulando gran cantidad de entrenamiento por debajo del primer umbral (alrededor del 80%), un tiempo mínimo en la zona inter umbrales y el tiempo restante por encima del segundo umbral (15-20%) (Seiler, 2010). La base científica detrás de este modelo es que al contrario que en el modelo de umbral, se acumula gran cantidad de tiempo a baja intensidad consiguiendo los beneficios de trabajar un alto volumen de entrenamiento, mientras que los pocos días en los que se buscan los beneficios de la intensidad se estimula este sistema al máximo (Laursen & Jenkins., 2002., & Seiler, 2010). Estudios comparativos también han encontrado mejoras superiores respecto a otras distribuciones de entrenamiento (Stöggl & Sperlich, 2014). Dentro del contexto ciclista, encontramos esta distribución en la competición como entrenamiento de profesionales femeninas (van Erp et al., 2019 c), al igual que en

competiciones masculinas, tanto en distintos recorridos (Sanders & van Erp, 2020) como en distintas categorías de prueba (van Erp & Sanders 2021).

Cabe destacar que aunque se tienda a clasificar el método de entrenamiento en grupos cerrados y aislados, la realidad es que no hay ninguna necesidad de mantener una misma distribución a lo largo de toda la temporada, sino que esta puede ir evolucionando en función del momento y objetivos de la temporada. En este sentido, recientemente Filipas et al (2022) han encontrado mayores mejoras en una periodización con una primera fase piramidal y segunda polarizada, en comparación con una polarizada o piramidal continua, o primera polarizada y segunda piramidal. Una estrategia parecida ha sido observada en los mejores años de una las esquiadoras de fondo más exitosas de los últimos años (Solli et al., 2017), siguiendo lo propuesto por el modelo de periodización tradicional.

En cuanto al presente estudio, se puede decir que la distribución se mantiene bastante estable año tras año, pero sí que podemos observar una ligera distinción entre los primeros tres años (categoría sub23) donde se utilizó una distribución más polarizada y los siguientes cuatro (categoría profesional) donde pasó a una distribución más piramidal (Gráfico 7). Aunque en un principio pueda parecer contradictorio, hay que tener en cuenta que la distribución de intensidades en las carreras también es distinta en ambas categorías. En este sentido, se ha visto que la intensidad de las carreras sub23 es mayor que en las carreras profesionales (Gallo et al., 2022; & Isla & Orbañanos, 2018), por lo que una distribución más polarizada sería más específica en esta categoría. También cabe destacar que aunque diferenciamos entre distintos modelos de periodización, la diferencias entre la segunda y tercera zona son mucho menos significativas que las que se teóricamente se suelen recomendar en los modelos previamente descritos. Esta distribución con parecido tiempo acumulado en la zona moderada y severa concuerda también con lo observado en un favorito durante distintas grandes vueltas de los últimos años (van Erp et al., 2020). Al analizar este gráfico, queda de manifiesto el problema previamente explicado de cuantificación en la distribución, al cuantificar mediante el tiempo en zona en vez de cuantificar según el objetivo de la sesión (Seiler, 2010). Es por ello, que la magnitud de la Z1 es mucho mayor que en lo que teóricamente se suele recomendar. Teniendo en cuenta que nos encontramos en el contexto del ciclismo en carretera, donde el volumen de entrenamiento es mucho más alto que en otros deportes como el atletismo, es totalmente normal que el tiempo en la intensidad ligera sea mayor, cambiando la distribución de lo que se esperaría en otros deportes.

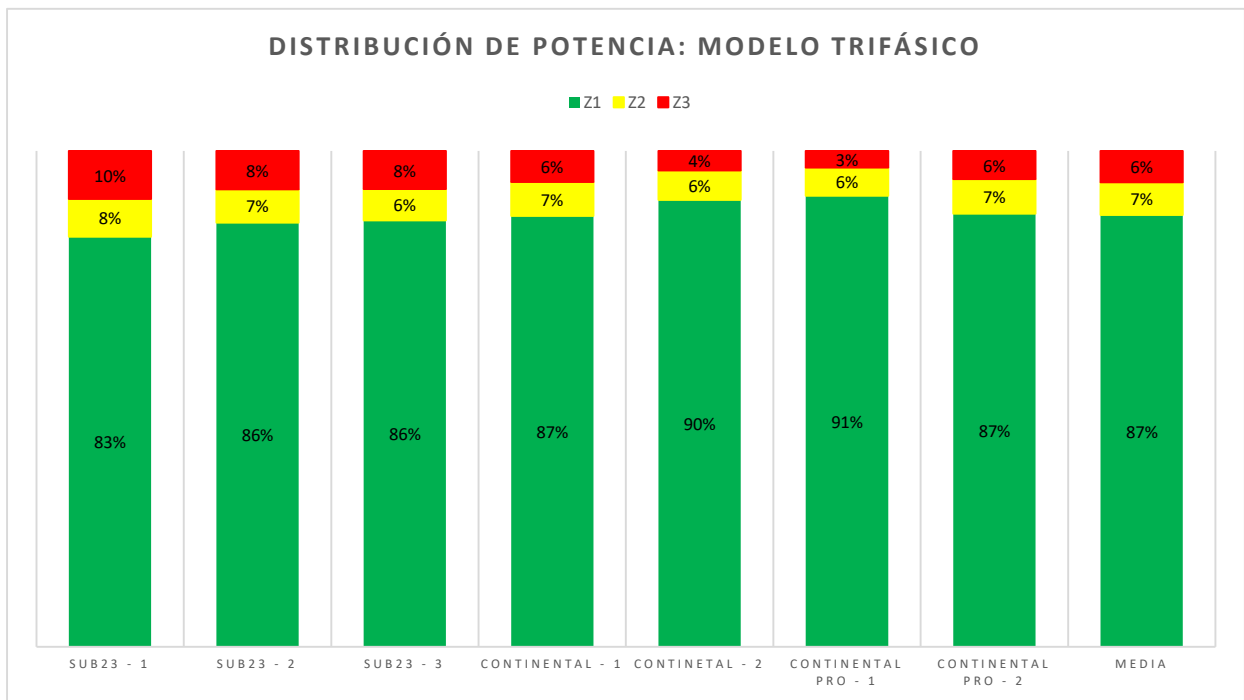


Gráfico 7: Distribución de potencia según el modelo polarizado. Z1: < 90% FTP. Z2: 91 – 106% FTP. Z3: >106% FTP

Con el objetivo de profundizar un poco más en la composición de la Z1 y Z3, el Gráfico 8 muestra la distribución en las 6 zonas clásicas de potencia (Allen & Coggan, 2010). En ella, se aprecia que la disminución de la intensidad severa se ha dado sobre todo a causa de la disminución del porcentaje de trabajo a intensidad de “capacidad anaeróbica” (Z6). En cuanto a la intensidad ligera (Z1 en el modelo trifásico), su aumento ha sido en gran parte por el aumento de trabajo a intensidad “resistencia” (Z2).

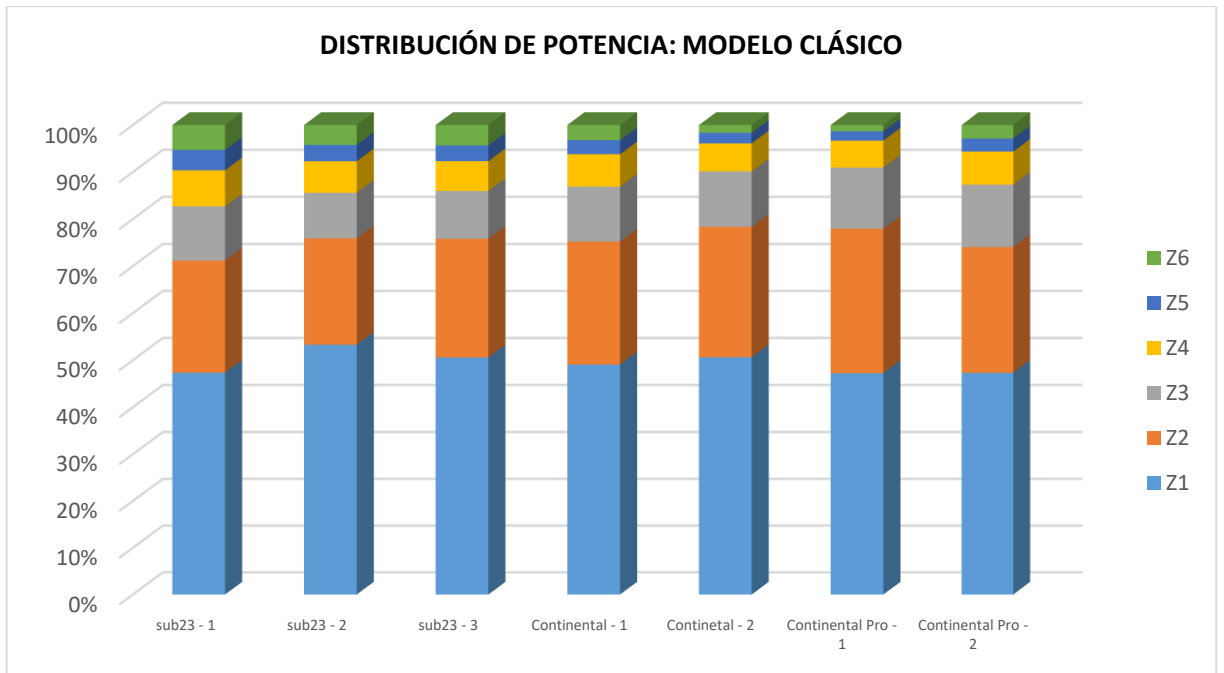


Gráfico 8: Distribución de potencia según el modelo clásico de 6 zonas (Allen & Coggan, 2010).

EVOLUCIÓN DE PARÁMETROS DE RENDIMIENTO

PERFIL DE POTENCIA

El perfil de potencia relaciona los mejores datos de potencia media del deportista en distintas duraciones. La observación de los mejores datos de potencia en distintas intensidades nos puede otorgar gran información de los “puntos fuertes y débiles” del deportista, al compararlo con los datos de otros deportistas (Allen & Coggan, 2010). El análisis de esta variable también nos puede aportar información más concreta sobre los cambios en el rendimiento que ha tenido el ciclista durante estos siete años. Generalmente, la mayoría de la literatura ha seguido las recomendaciones de Allen y Coggan (2010), analizando los mejores datos de 5s, 1min, 5min, 20min y FTP (métrica explicada más adelante), aunque trabajos como el de Pinnot y Grappe (2015) también analizan un mayor abanico de duraciones. Conocer los valores de potencia de distintas duraciones permite también estimar la Potencia Crítica y la W' (Sreedhara et al., 2019), al igual que el modelado de potencia permite valorar el mFTP (Arguedas et al., 2022) y con esto estimar el máximo estado estable metabólico teórico. Otra interesante aplicación del perfil de potencia y el modelado de este es el de crear las zonas de potencia en función de esta, dejando de lado los marcadores fisiológicos (Pinnot & Grappe, 2011).

Este apartado también nos va a permitir comparar los valores del sujeto respecto a los reportados por otros estudios, aunque esto hay que analizarlo con cuidado, teniendo en cuenta que la mayoría de valores de la literatura son obtenidos en competición y por lo tanto bajo condiciones de fatiga (aspecto que analizaremos en el siguiente apartado). En este sentido, el estudio que mejor referencia nos puede dar seguramente sea el recientemente publicado por Valenzuela et al. (2022), donde se comparten valores de potencia de 144 ciclistas repartidos en 8 temporadas y 4 equipos (dos Continental Profesional y dos World Tour) y se clasifican estos en cinco percentiles (p25, p50, p75 y p90).

A continuación, pasaremos a explicar las duraciones elegidas para el presente estudio y su justificación:

- **5 segundos:** La media máxima de 5s se suele utilizar como indicador de la capacidad de sprintar que tiene el ciclista. La razón de utilizar la media de 5s y no el pico máximo, suele ser que el pico puede deberse a errores del potenciómetro, además de que los sprints en ciclismo tienen una duración mayor. Por lo tanto, este dato lo podríamos relacionar con la potencia neuromuscular del ciclista.

Seguendo las referencias de Allen y Coggan (2010), podemos clasificar al sujeto como excelente o muy bueno a lo largo de todos los años del estudio. Seguendo las referencias de Valenzuela et al., (2022) el sujeto se encontraría cerca del percentil 50 en este valor. Tal y como se observa en la Tabla 4, el sujeto no tuvo grandes mejoras a lo largo de del estudio en este valor. Es más, el valor máximo se encuentra en la temporada 2016 – 2017. Al tratarse de un valor muy cercano a la potencia máxima, los dos factores más influyentes son tanto la masa muscular, como la activación nerviosa de la musculatura en cuestión (Kawamori et al., 2004). Teniendo en cuenta que las características antropométricas se han mantenido bastante estables durante todos los años (observación del autor), por lo que se puede decir que el sujeto ha mantenido su masa muscular a lo largo del estudio. Por otro lado, sabemos que la activación nerviosa puede mejorar tras el entrenamiento de sprints (Kristofersen et al., 2019) y entrenamiento de fuerza (Rønnestad et al., 2014 & 2017) y que al igual que se pueden dar estas mejoras, también se pueden perder en caso de ausencia de entrenamiento. Sabiendo que el ciclista no se ha especializado en sprints masivos, se puede pensar que seguramente no se haya trabajado tanto esta capacidad durante los últimos años, teniendo una pequeña bajada de rendimiento.

Año	Edad	Categoría	5"	
			w	w/kg
2015	18-19	sub23 - 1	1210	18,627
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	1192	18,4
			-2%	-1%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	1289	20,6
			8%	11%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	1229	20,303
			-5%	-1%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	1154	18,38
			-6%	-10%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	1207	19,48
			4%	6%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	1191	18,709
			-1%	-4%

Tabla 4: Mejores medias máximas de 5 segundos por temporada. Valores absolutos (w) como en relativos (w/kg) en las casillas blancas y el cambio respecto a la temporada anterior en el cuadro gris.

- **30 segundos:** Esfuerzos máximos de 30 segundos se han relacionado con la máxima producción de energía a partir de la glucólisis y es por ello que esta duración se suele utilizar como indicador de la “potencia anaeróbica” del deportista (Lillo Beviá, 2019). En el presente estudio, los mejores valores se encuentran en el segundo y tercer año, cuando todavía competía en la categoría sub23, llegando a valores de 893w o 13,8w/kg

(Tabla 5). Una vez pasado a profesional, estos valores son menores, aunque también es cierto que se mantienen por encima de los 13w/kg los últimos 2 años.

Año	Edad	Categoría	30"	
			w	w/kg
2015	18-19	sub23 - 1	703	10,9
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	848	13,1
			17%	17%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	893	13,8
			5%	5%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	725	11,7
			-23%	-18%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	764	12,3
			5%	5%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	814	13,2
			6%	7%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	798	13,1
			-2%	-1%

Tabla 5: Valores medios máximos en 30 segundos de cada temporada. Cuadro blanco: valores absolutos (w) y relativos (w/kg). Cuadro gris: cambio respecto a la temporada anterior.

- **1 minuto:** Esfuerzos máximos de alrededor de 1 minuto suelen tener como consecuencia los valores máximos de lactato en sangre, siendo un indicador de la máxima capacidad glucolítica del deportista (Allen & Coggan, 2010). Al igual que en los dos anteriores parámetros el mejor valor se encuentra en el tercer año de sub23, encontrándose en el límite entre la categoría “clase mundial” y “excepcional”, con un valor de 10,6w/kg. Cabe destacar que esto sería en base a los vatios relativos, ya que el máximo valor absoluto es el del segundo año con 661w (Tabla 6). Resulta interesante observar cómo tras sufrir una importante bajada al pasar a profesionales, el último año el sujeto ha vuelto a estar cerca de sus mejores valores.

Año	Edad	Categoría	1'	
			w	w/kg
2015	18-19	sub23 - 1	515	7,95
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	661	10,2
			22%	22%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	650	10,6
			-2%	4%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	565	9,1
			-15%	-16%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	584	9,5
			3%	4%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	585	9,5
			0%	0%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	651	10,2
			10%	6%

Tabla 6: Valores medios máximos en 1 minuto de cada temporada. Cuadro blanco: valores absolutos (w) y relativos (w/kg). Cuadro gris: cambio respecto a la temporada anterior.

- **5 minutos:** Estudios analizando el tiempo límite a intensidad del consumo máximo de oxígeno (VO₂max), han encontrado que este se suele encontrar alrededor de 5 minutos, aunque también hay que reconocer que dependiendo de distintos factores como el nivel del deportista, la disciplina o el protocolo utilizado para definir el VO₂max se ha encontrado una gran variabilidad en los tiempos límite, rondando entre 3 y 5 minutos (Lillo Beviá, 2019). Una vez aclarado esto, vamos a utilizar el valor de 5 minutos como indicador de la potencia generada a intensidad de consumo máximo de oxígeno por ser el valor más utilizado en la literatura científica. Al contrario que en intensidades más altas (tradicionalmente clasificadas como “anaeróbicas”), se observa una interesante mejora a medida que pasan los años. Siguiendo la clasificación de Allen y Coggan (2010), podríamos clasificarlo como “clase mundial” al encontrarnos valores superiores a los 7w/kg (Tabla 7). Estos, son ligeramente inferiores a los reportados por Pinnot y Grappe (2014) por un ciclista que llegó a disputar una gran vuelta (donde obtuvo valores superiores a 7,2w/kg en sus años de profesional y llegando a los 7,4w/kg). Por otro lado, este es similar o incluso superior al observado tanto en puestos de top5 en carreras World Tour (van Erp et al., 2021 b) y durante distintas grandes vueltas donde el sujeto terminó en el podio (van Erp et al., 2020). En cuanto al estudio de Valenzuela et al., (2022) el sujeto se encontraría en el p50.

Año	Edad	Categoría	5'	
			w	w/kg
2015	18-19	sub23 - 1	373	5,76
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	429	6,62
			13%	13%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	420	6,74
			-2%	2%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	401	6,6
			-5%	-2%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	427	6,9
			6%	4%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	441	7,1
			3%	3%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	434	7,06
			-2%	-1%

Tabla 7: Valores medios máximos en 5 minutos de cada temporada. Cuadro blanco: valores absolutos (w) y relativos (w/kg). Cuadro gris: cambio respecto a la temporada anterior.

- **10 minutos:** Desde una perspectiva fisiológica, podríamos decir que la intensidad requerida en un esfuerzo máximo de 10 minutos se encontraría entre el consumo máximo de oxígeno y el máximo estado estable o “umbral anaeróbico”. Por lo tanto, esta

duración no se correlaciona directamente con ningún hito fisiológico. Sin embargo, se ha decidido incluirlo ya que esta suele ser la duración de la mayoría de esfuerzos que definen las carreras en la categoría sub23 del calendario amateur tanto nacional como local (observación propia del autor). Al tratarse de un punto de la curva de potencia – tiempo muy demandado en el calendario, nos podemos asegurar además de que este se han dado varios esfuerzos máximos (o cercanos a este) a lo largo de la temporada y de este modo que esta se mantiene bastante bien actualizada, aunque no se hayan realizado muchos test de campo.

Tal y como cabría esperar, al tratarse de un esfuerzo determinante en la categoría sub23, encontramos muy buenos valores el último año de esta categoría (Tabla 8), pudiendo ser una de las razones por las que el sujeto obtuvo buenos resultados ese año. Tras dos años en los que no llegó a esos valores, se observa un importante salto en la categoría Continental Profesional (9% de mejora), situándose en los 6,6w/kg y 6,4 w/kg los últimos dos años. Al igual que en los 5 minutos, este se encuentra cerca o incluso por encima de valores de top5 en competición World Tour (van Erp et al., 2021 b). Por otro lado, siguen siendo inferiores a los reportados por Pinnot y Grappe (2014), algo totalmente normal teniendo en cuenta el nivel del sujeto analizado este estudio. Por último, los dos últimos años se encontraría entre el p50 y p75 con las referencias de Valenzuela et al., (2022).

Año	Edad	Categoría	10'	
			w	w/kg
2015	18-19	sub23 - 1	357	5,5
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	375	5,8
			5%	5%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	380	6,2
			1%	6%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	373	5,9
			-2%	-5%
2018 - 2019	22-23	Continetal - 2	372	6
			0%	2%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	403	6,6
			8%	9%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	393	6,4
			-3%	-3%

Tabla 8: Valores medios máximos en 10 minutos de cada temporada. Cuadro blanco: valores absolutos (w) y relativos (w/kg). Cuadro gris: cambio respecto a la temporada anterior.

- **20 minutos:** La potencia media máxima se suele utilizar para la estimación del “umbral anaeróbico” o máximo estado estable de lactato (MLSS), mediante el test de Umbral de Potencia Funcional (FTP, por sus siglas en inglés), el cuál profundizaremos en el siguiente punto. Además de esto, la duración de 20 minutos también se ha utilizado para

diferenciar entre la intensidad moderada y severa (Pinnot & Grappe, 2011). Por ello, se puede decir que este valor se suele correlacionar con la capacidad oxidativa del deportista y por lo tanto el máximo estado estable metabólico del deportista.

La tabla 9 muestra cómo este valor ha ido en aumento año tras año (excepto el último año). Van Erp et al., (2021) encontraron que valores de alrededor de 6w/kg eran necesarios para disputar carreras con final en alto de la categoría World Tour. Por otro lado, se ha observado que para disputar una gran vuelta este valor debe ser aún mayor, superando los 6w/kg (Pinnot & Grappe, 2014; van Erp et al., 2020). Finalmente, en comparación con los datos de Valenzuela et al., (2022) el sujeto se encontraría en el p50 en los últimos tres años

Año	Edad	Categoría	20'	
			w	w/kg
2015	18-19	sub23 - 1	330	5,08
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	354	5,46
			7%	7%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	356	5,7
			1%	4%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	364	5,8
			2%	2%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	370	6,02
			2%	4%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	382	6,18
			3%	3%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	376	6,07
			-2%	-2%

Tabla 9: Valores medios máximos en 20 minutos de cada temporada. Cuadro blanco: valores absolutos (w) y relativos (w/kg). Cuadro gris: cambio respecto a la temporada anterior.

- **FTP:** El FTP es una estimación del MLSS o máximo estado estable metabólico, creado para facilitar el seguimiento de este, ya que el test de MLSS es un protocolo que exige varios días y es difícil de llevar a cabo en la práctica. Para ello, Allen & Coggan (2010) crearon esta métrica, donde multiplicando el valor máximo de 20' x 0,95. Aunque en un principio en su definición se afirmaba que esta era una intensidad que el deportista era capaz de mantener durante una hora, hoy en día esta definición ha cambiado, afirmando que se trata de la máxima intensidad en la que el organismo se mantiene en su máximo estado estable metabólico (Allen & Coggan, 2010). Por lo tanto, esta vez ya no se define el tiempo límite de dicha intensidad. Es importante reconocer que esta métrica ha sido muy criticada por la literatura científica por sobreestimar el MLSS (Lillo Beviá, 2019) y también porque solamente utiliza un punto de toda la curva de potencia – tiempo, sin ajustarse a las diferencias individuales que se dan en otras duraciones respecto a la potencia de 20' (Leo et al., 2021). En este estudio, al igual que en un estudio similar de

van Erp et al., (2019 & 2020), hemos utilizado los mejores 20' de cada temporada para definir el FTP de cada año, multiplicándolo por 0,95. Somos totalmente conscientes de que en realidad el FTP no es igual durante toda la temporada, pero al tratarse de un estudio retrospectivo de esta envergadura, se ha decidido utilizar un mismo criterio para todos los años, y así poder compararlos entre sí.

En cuanto al presente estudio, al tratarse de una corrección aplicada a los datos de 20 minutos que se acaban de analizar, la progresión es la misma (Tabla 10). Comparándolo con las referencias de Allen y Coggan (2010), el sujeto ha pasado desde el nivel de “excelente” hasta la de “clase mundial” a lo largo de los años.

Año	Edad	Categoría	FTP	
			w	w/kg
2015	18-19	sub23 - 1	313,5	4,8
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	336,3	5,2
			7%	7%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	338,2	5,4
			1%	4%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	345,8	5,5
			2%	2%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	351,5	5,7
			2%	4%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	362,9	5,9
			3%	3%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	357,2	5,8
			-2%	-2%

Tabla 10: Valores medios máximos en FTP de cada temporada. Cuadro blanco: valores absolutos (w) y relativos (w/kg). Cuadro gris: cambio respecto a la temporada anterior.

- **60 minutos:** Tradicionalmente, se ha correlacionado el “umbral anaeróbico” o máximo estado estable con una intensidad en la que el tiempo límite es de alrededor de una hora. De hecho, la primera definición del FTP afirmaba que esta era la intensidad a la que el ciclista era capaz de pedalear durante una hora. Hoy en día por el contrario, sabemos que el esto no es así, observando que los ciclistas no suelen ser capaces de durar una hora a dicha intensidad (Lillo Beviá, 2019). Por otro lado, aunque no se pueda correlacionar directamente con ningún hito fisiológico concreto, esto no significa que la potencia media máxima de una hora no sea interesante de analizar, ya que aporta información directa sobre el rendimiento que del deportista en esfuerzos máximos de larga duración como puede ser un puerto de alta montaña o una contrarreloj larga. La tabla 11 muestra que hasta el último año del estudio no se ha dado una importante mejora de esta valor, pasando de 4,9w/kg el tercer año de sub23 a 5,2w/kg el segundo de Continental Profesional. Este dato puede resultar contradictorio en un principio, teniendo en cuenta que el FTP sí que ha aumentado más progresivamente (analizado el

punto anterior). La explicación más probable es que seguramente el sujeto no haya realizado un esfuerzo de estas características durante estos años. Hay que tener en cuenta que la potencia media sufre grandes cambios cuando el ritmo no es continuo (bajadas, curvas, circunstancias de carrera o tráfico...), por lo que es difícil que se den esfuerzos realmente máximos y se pueda ver la media máxima que el ciclista pueda producir.

Año	Edad	Categoría	60'	
			w	w/kg
2015	18-19	sub23 - 1	277	4,3
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	305	4,7
			9%	9%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	301	4,9
			-1%	4%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	289	4,7
			-4%	-4%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	287	4,6
			-1%	-2%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	304	4,9
			6%	6%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	323	5,2
			6%	6%

Tabla 11: Valores medios máximos en una hora de cada temporada. Cuadro blanco: valores absolutos (w) y relativos (w/kg). Cuadro gris: cambio respecto a la temporada anterior.

- **60 minutos Potencia Normalizada:** Una posible solución al problema que se acaba de explicar, puede ser la Potencia Normalizada (NP). La potencia normalizada es un algoritmo cuyo objetivo es estimar la potencia media que el ciclista hubiera obtenido si el esfuerzo hubiera sido constante, mostrando la exigencia metabólica de esfuerzos estocásticos (Allen & Coggan, 2010). Para ello, “normaliza” la duración escogida a partir de treinta segundos (Ecuación 2).

La Tabla 12 muestra que las diferencias en este parámetro han sido prácticamente nulas. Esto puede ser debido a que la corta duración en la categoría sub23 hace que la intensidad de estas competiciones sea mayor a las competiciones profesionales (Isla & Orbañanos, 2018). En la misma línea, Gallo et al., (2022) encontraron una mayor intensidad en cuanto a distribución de frecuencia cardíaca en corredores sub23, aunque estas diferencias no fueron tan importantes como en comparación con los junior.

Año	Edad	Categoría	60' NP	
			w	w/kg
2015	18-19	sub23 - 1	315	4,9
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	343	5,3
			8%	8%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	329	5,4
			-4%	2%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	324	5,1
			-2%	-6%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	326	5,3
			1%	4%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	338	5,5
			4%	4%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	342	5,5
			1%	0%

Tabla 12: Valores máximos de potencia normalizada (NP) en una hora de cada temporada. Cuadro blanco: valores absolutos (w) y relativos (w/kg). Cuadro gris: cambio respecto a la temporada anterior.

- **180 minutos Potencia Normalizada:** Para terminar con el análisis de potencia, se ha decidido incluir el valor de potencia normalizada de tres horas por ser la duración aproximada de la mayoría de competiciones en sub23 (observación del autor). Tal como se observa en la Tabla 13, tampoco se encuentran diferencias significativas en esta duración, dejando una vez más en manifiesto la alta intensidad de las competiciones sub23. Como ya se ha visto anteriormente, el sujeto sí que mejoró su FTP a lo largo del estudio, por lo que un mismo valor de potencia supondría un mayor porcentaje respecto a este, aumentando el factor de intensidad (Ecuación 3) y la propia distribución de potencia.

Año	Edad	Categoría	180' NP	
			w	w/kg
2015	18-19	sub23 - 1	296	4,6
2015 - 2016	19-20	sub23 - 2	312	4,8
			5%	4%
2016 - 2017	20-21	sub23 - 3	303	4,9
			-3%	2%
2017 - 2018	21-22	Continental - 1	286	4,6
			-6%	-7%
2018 - 2019	22-23	Continental - 2	294	4,8
			3%	4%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro - 1	310	5
			5%	4%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro - 2	303	4,9
			-2%	-2%

Tabla 13: Valores máximos de potencia normalizada (NP) en tres horas de cada temporada. Cuadro blanco: valores absolutos (w) y relativos (w/kg). Cuadro gris: cambio respecto a la temporada anterior.

Con el objetivo de poder observar la progresión en las intensidades más actualizadas por su contar con esfuerzos máximos en dichas duraciones, el gráfico 9 muestra dichos valores sumado a una regresión lineal. Si bien es cierto que todas las líneas de regresión son positivas indicando que los valores van a más, se puede observar dos distintas tendencias: en duraciones inferiores a 5 minutos, los valores máximos se dan en los primeros años (sobre todo sub23 de tercer año) mientras que en duraciones superiores sí que hay una progresión más lineal a lo largo de todos los años. Si bien es cierto que estos valores no se pueden atribuir a ningún cambio fisiológico en concreto, teniendo en cuenta que el cambio de tendencia se observa en la duración de 5 minutos y que esta se suele correlacionar con el consumo máximo de oxígeno (Allen & Coggan, 2010) se puede pensar que el sujeto obtuvo su mejor “capacidad anaeróbica” en la primera mitad del estudio, mientras que a medida que pasan los años aumenta su capacidad oxidativa o “aeróbica”. Este hecho tiene sentido desde un punto de vista fisiológico también, ya que las adaptaciones del sistema aeróbico requieren de más tiempo, acumulándose tras meses e incluso años de entrenamiento (Seiler, 2010). Además, también se ha observado que la variable que más cambios ha sufrido a lo largo del estudio ha sido el volumen de entrenamiento (apartado de duración, kJ y distancia), cambiando también la distribución de intensidad, hacia una más piramidal. Siguiendo el principio de especificidad, se puede pensar que el sujeto ha centrado mayor atención en trabajar la vía oxidativa (aumentando esta), mientras que las intensidades superiores al consumo máximo de oxígeno han quedado en un segundo plano (disminuyendo o manteniendo dichos valores).

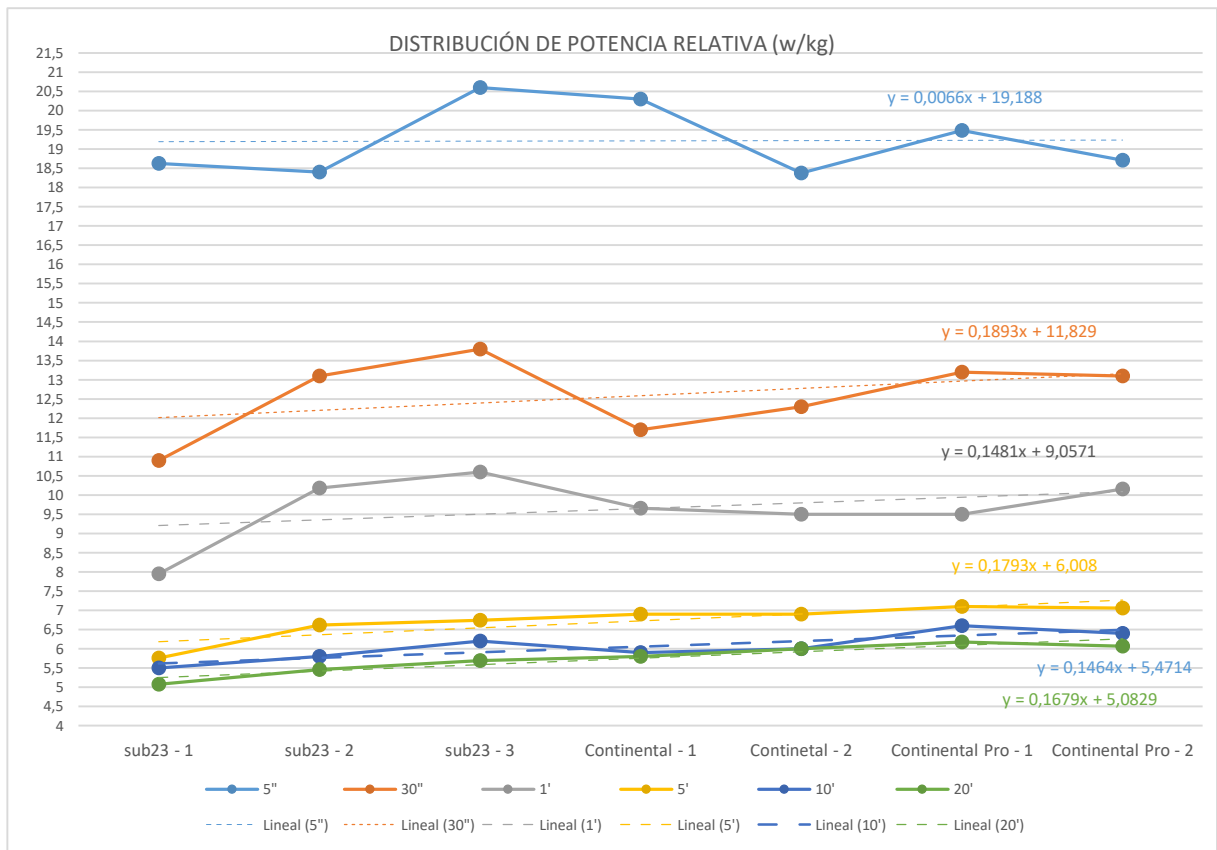


Gráfico 9: Resumen de los cambios de las potencias medias máximas a lo largo del estudio. También se ha sumado la regresión lineal y fórmula de cada duración.

PERFIL DE POTENCIA EN FATIGA (DURABILIDAD)

Conocer el perfil de potencia de un corredor es importante tal y como se ha explicado en el apartado anterior, pero este puede fallar a la hora de distinguir entre los ciclistas más y menos exitosos dentro de un contexto de alto rendimiento. El ciclismo es un deporte de naturaleza estocástica, lo que significa que no se suelen dar esfuerzos constantes, sino que se puede decir que esfuerzos de momentos específicos son los que realmente marcan las diferencias (un puerto de montaña, el último kilómetro en sprints, el ataque decisivo...). Al tratarse de esfuerzos específicos que se dan en carrera, estos se dan en fatiga, aumentando las diferencias entre los deportistas. Para poner solución a dicho problema, Maunder et al., (2021) propusieron el concepto de durabilidad, definido como la capacidad de mantener el rendimiento tras un trabajo previo y por lo tanto tras una fatiga previa. Otros autores también han definido este mismo fenómeno como “resistencia a la fatiga” (Celdrán & Arguedas., 2022). Al analizar esta variable, sí que se han empezado a encontrar importantes diferencias entre ciclistas más y menos exitosos. De hecho, van Erp et al., (2020)

achacaron a esta capacidad de mantener el rendimiento tras un gran gasto energético y desnivel acumulado el éxito del sujeto estudiado en distintas grandes vueltas, donde terminó en el top5 en todas y llegó a ganar una de ellas. A partir de este estudio, recientemente han ido publicándose distintos trabajos donde se ha observado que la variable, observando interesantes diferencias entre ciclistas más y menos exitosos. Por un lado, se ha observado que a medida que aumenta el gasto energético (medido en kJ) la caída de potencia aumenta significativamente en todos los ciclistas, pero que esta se da antes y en mayor magnitud en ciclistas de nivel Continental Profesional en comparación con los World Tour (Mateo – March et al., 2022). Otro estudio del mismo grupo de investigación también encontró que además de una menor caída en la misma etapa, también había una mayor caída de valores máximos a medida que pasaban las semanas durante la Vuelta a España de 2020 (Muriel et al., 2021). Por último, van Erp et al., (2021b) también encontraron que los resultados de top5 en carreras World Tour se daban gracias a esfuerzos cercanos al máximo histórico hechos en la parte final de carrera, sobre todo cuando se trataba de etapas de media y alta montaña.

En el presente estudio, en vez de analizar la caída de potencia tras distintos gastos energéticos, directamente nos hemos centrado en la caída tras 35kJ/kg (aproximadamente 2200Kcal en este caso). El gasto de 35kJ/kg no ha sido escogido al azar, sino que se ha elegido dicho valor por ser el aproximado en la parte final del calendario vasco en la categoría sub23 (observación propia del autor), por lo que nos aseguramos de encontrar valores de esfuerzos máximos tras este gasto (analizar valores superiores probablemente nos llevaría a equívocos por no tener referencias de carrera en la categoría sub23). Además de esto, encontramos que este mismo valor de 35kJ/kg también ha sido analizado en otros estudios, por lo que podemos compararlo con otros profesionales. Teniendo en cuenta que la literatura está encontrando que la durabilidad (medido como valores máximos tras una cantidad de trabajo previo) puede ser una variable más determinante que el perfil de potencia tradicional a la hora de distinguir el nivel del ciclista (Muriel et al., 2021 & Mateo – March et al., 2022), cabría esperar una mejora de estos valores a lo largo del estudio en cuestión.

Una importante limitación de este apartado es que es probable que no se hayan dado esfuerzos máximos de cada duración tanto sin fatiga como tras 35kJ/kg en todas las temporadas, pudiendo ser la causa por la que encontramos tan importantes diferencias de una temporada a otra. Otro aspecto a tener en cuenta es que la fatiga ha sido medida en kJ, pero sabemos que la carga interna puede ser muy distinta en función de cómo se ha llegado a estos kJ (rodar varias horas a baja intensidad vs esfuerzos más cortos a máxima intensidad...).

Empezando por un análisis general, el Gráfico 10 puede ayudar a analizar la progresión de pérdida que ha tenido cada valor analizado a lo largo del estudio. Como se puede ver, menos en el caso de 10 minutos, el resto de valores no siguen una tendencia constante a lo largo de los años. Lo que sí que podemos decir es que los dos últimos años son los mejores en este sentido, destacando el último año donde ningún valor excede el 5% de pérdida y con una pérdida media de sólo 1,8% (Tabla 14).

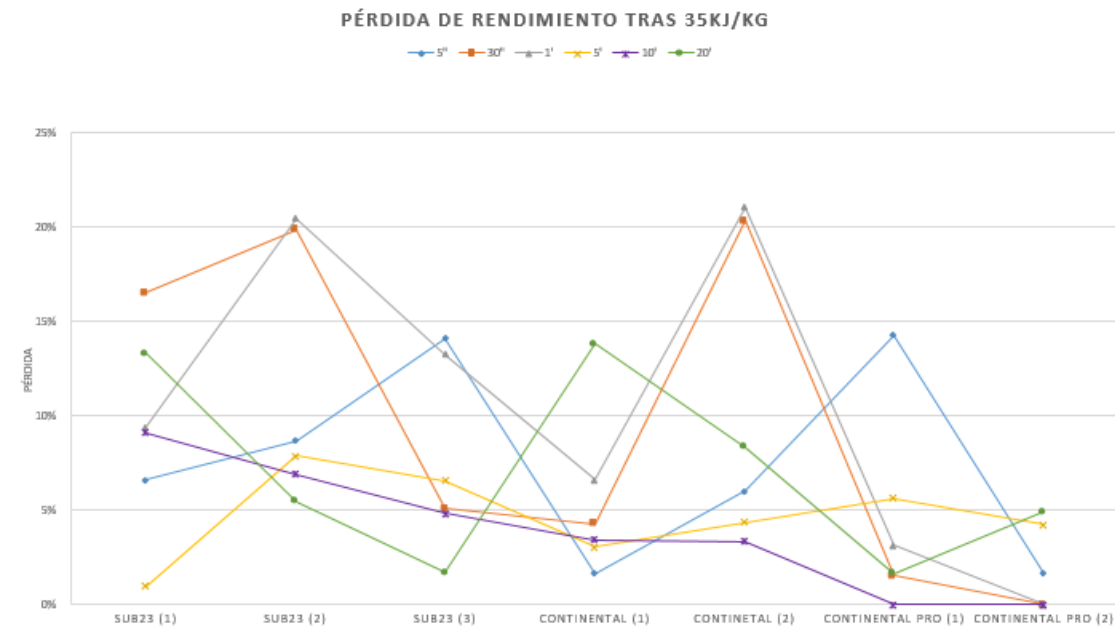


Gráfico 10: Porcentaje de pérdida de rendimiento tras 35kJ/kg.

Pasando a un análisis un poco más profundo, la Tabla 14 muestra la pérdida de potencia en cada duración y la media de estos valores. Teniendo se trata de un campo poco estudiado hasta la fecha y que los recientes trabajos tratan de referencias a nivel Continental Profesional y World Tour, el análisis se centrará en los dos últimos años, donde el sujeto se encontraba en la categoría Continental Profesional (que también coincide con sus mejores valores). Siguiendo el trabajo de Mateo – March et al., (2022) en la duración de un minuto el sujeto se encontraría con los mejores ProTour (p10) y en mitad de los valores World Tour (p50). En cuanto a los valores de 5 minutos, se encontraría en el p50 de los ProTour y p75 en los World Tour. Por último, la pérdida en 20 minutos lo situaría en el p50 de ambas categorías. De esta manera, podemos concluir que el sujeto tiene una durabilidad media – alta en comparación con los ciclistas de su categoría (ProTour), mientras que si

lo comparamos con los World Tour, esta es algo peor aunque sigue estando alrededor de los valores medios.

Año	Edad	Categoría	5"			30"			1'			5'			10'			20'			MEDIA
			PPT	fatiga	pérdida	PPT	fatiga	pérdida	PPT	fatiga	pérdida	PPT	fatiga	pérdida	PPT	fatiga	pérdida	PPT	fatiga	pérdida	
2015	18-19	sub23 (1)	18,627	17,4	7%	10,9	9,1	17%	7,948	7,2	9%	5,756	5,7	1%	5,5	5	9%	5,077	4,4	13%	9,3%
2015 - 2016	19-20	sub23 (2)	18,4	16,8	9%	13,1	10,5	20%	10,185	8,1	20%	6,62	6,1	8%	5,8	5,4	7%	5,5	5,2	5%	11,5%
2016 - 2017	20-21	sub23 (3)	20,6	17,7	14%	13,8	13,1	5%	10,6	9,2	13%	6,742	6,3	7%	6,2	5,9	5%	5,696	5,6	2%	7,6%
2017 - 2018	21-22	Continental (1)	18,6	18,3	2%	11,7	11,2	4%	9,1	8,5	7%	6,6	6,4	3%	5,9	5,7	3%	5,8	5	14%	5,4%
2018 - 2019	22-23	Continental (2)	18,3	17,2	6%	12,3	9,8	20%	9,5	7,5	21%	6,9	6,6	4%	6	5,8	3%	6	5,5	8%	10,6%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro (1)	19,6	16,8	14%	13,2	13	2%	9,496	9,2	3%	7,1	6,7	6%	6,6	6,6	0%	6,2	6,1	2%	4,4%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro (2)	18,6	18,3	2%	13,1	13,1	0%	10,5	10,5	0%	7,1	6,8	4%	6,4	6,4	0%	6,1	5,8	5%	1,8%

Tabla 14. Comparativa entre los valores máximos y mejores tras 35kJ/kg de cada temporada en distintas duraciones. PPT: valores máximos de cada temporada. Fatiga: valores máximos tras 35kJ/kg. Pérdida: porcentaje de pérdida.

Finalizando con este apartado, el Gráfico 11 muestra la gráfica de potencia – tiempo a lo largo del estudio. Este resulta interesante, porque refleja tanto la mejora de los valores máximos (analizado en el apartado “Perfil de Potencia”), como la menor pérdida tras 35kJ/kg que acabamos de ver. De esta manera, sí que se observa una importante mejora en los últimos años (sobre todo el último) en toda la curva de potencia – tiempo.

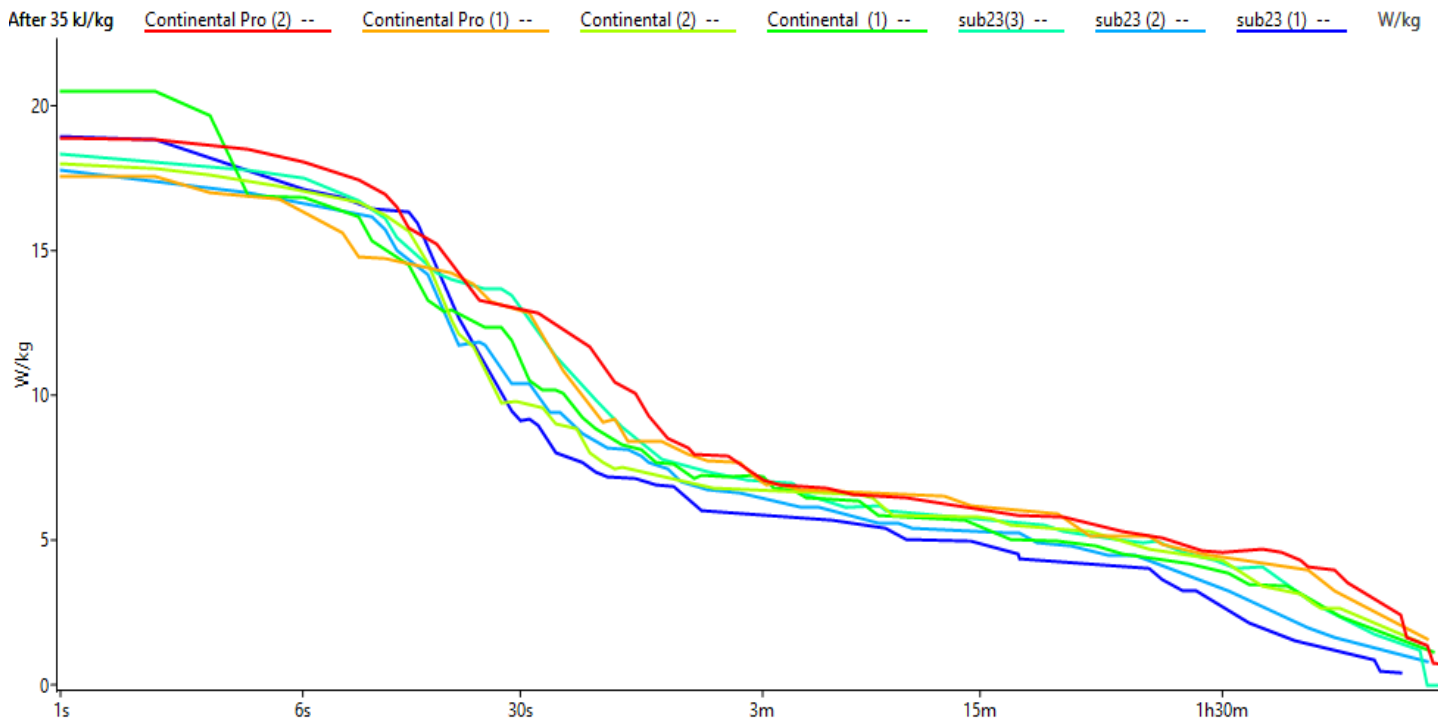


Gráfico 11. Comparación de cada temporada en la curva de potencia - tiempo tras 35kJ/kg. Obtenido mediante WK05.

FACTOR DE EFICIENCIA (EF)

El factor de eficiencia (EF, por sus siglas en inglés), es una métrica muy simple de calcular, en la cual se divide la potencia normalizada de la sesión por la frecuencia media (Ecuación 4). Una de las principales adaptaciones al entrenamiento de resistencia es el aumento de gasto cardíaco, causado

por el aumento del volumen sistólico. Gracias a esto, se necesita una menor frecuencia cardiaca para un mismo gasto cardiaco a intensidades submáximas, mientras que a intensidades máximas el consumo máximo de oxígeno también aumenta (Goodman et al., 2005). Por lo que una mejora en el EF podría indicar un aumento del volumen sistólico y de esta manera una mejor función cardíaca.

$$EF = \frac{NP}{Fc \text{ media}}$$

Ecuación 4. Factor de Eficiencia (EF). NP: potencia normalizada.

Por otro lado, su malinterpretación también puede ser muy peligrosa teniendo en cuenta que una de las consecuencias del acumulamiento de fatiga es la supresión del sistema nervioso simpático y la frecuencia cardiaca. En este sentido, se ha visto que durante una gran vuelta el ratio potencia/frecuencia cardiaca aumenta a lo largo de las semanas como consecuencia de la fatiga acumulada (Sanders et al., 2018). Por ello, en este caso sería un gran error pensar que el aumento de EF era la consecuencia de una buena adaptación al entrenamiento y no causa de la supresión de la actividad simpática, pudiendo llevar al deportista a sobreentrenamiento.

Otro aspecto a tener en cuenta, es que el EF es dependiente de la intensidad de esfuerzo. Y es que, la relación entre volumen de oxígeno utilizado y potencia no es lineal, sobre todo a intensidades superiores al máximo estado estable. Esto, hace que a mayores intensidades se encuentre un mayor factor de eficiencia, al darse un aumento de NP mayor que en la frecuencia cardiaca. Por lo tanto, esta métrica, aunque nos puede aportar cierta información, tenemos que compararlo en sesiones parecidas o analizarlo por valores medios a mayor escala. En nuestro caso, al compararlo de un año al siguiente y entre los mismos meses pero en años distintos, podemos pensar que el contenido de los entrenamientos era parecido y que por lo tanto podemos analizarlo de manera general. En un principio, cabría esperar un aumento progresivo de este valor, teniendo en cuenta la acumulación de adaptaciones a lo largo del estudio.

La Tabla 14 muestra los valores medios mes a mes y la media de cada año. Empezando por los valores medios, se observa que los primeros tres años este valor aumenta de manera progresiva, hasta que sufre un retroceso el primer año de Continental. Después de este, vuelve a haber un aumento año tras año, terminando en una media de 1,86. En cuanto al análisis de cada año, se puede observar que los primeros meses se da un gran aumento y después este se estabiliza durante el resto de la temporada. Esto, puede deberse a distintas razones. Desde un punto de vista fisiológico, tal y como se ha explicado anteriormente, el aumento de volumen sistólico es una adaptación que se da

tras pocas sesiones de entrenamiento (Goodman et al., 2005). Por ello, los primeros meses de la temporada, donde el deportista viene de una fase de transición donde seguramente se haya dado una pérdida de adaptaciones, es normal que se consigan grandes mejoras. Una vez conseguido cierto nivel, parece que las adaptaciones se “estancan”, algo totalmente normal, teniendo en cuenta que el sujeto ya cuenta con una capacidad cardiorrespiratoria muy alta. Por otro lado, tampoco nos podemos olvidar de la influencia de la intensidad previamente descrita. Siguiendo una periodización tradicional, es probable que los primeros meses la intensidad haya ido en aumento (aumentando la NP) y esto haya aumentado el EF a su vez (Ecuación 4). Una vez entrado en la fase competitiva (Febrero - Marzo) las características del calendario no suelen dejar mucho margen a entrenar, por lo que suele pasar a una fase más estable en cuanto al entrenamiento.

Año	Edad	Categoría	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	MEDIA
2015	18-19	sub23 (1)					1,43	1,55	1,64	1,5		1,52			1,53
2015 - 2016	19-20	sub23 (2)	1,43	1,57	1,71	1,71	1,7	1,76	1,69	1,71	1,73	1,73	1,75		1,68
							16%	12%	3%	12%		12%			9%
2016 - 2017	20-21	sub23 (3)	1,63	1,64	1,75	1,82	1,71	1,69	1,77	1,82	1,74	1,67	1,78		1,73
			12%	4%	2%	6%	1%	-4%	5%	6%	1%	-4%	2%		3%
2017 - 2018	21-22	Continental (1)	1,55	1,66	1,71	1,69	1,71	1,71	1,64	1,75	1,79	1,77	1,75	1,36	1,67
			-5%	1%	-2%	-8%	0%	1%	-8%	-4%	3%	6%	-2%		-3%
2018 - 2019	22-23	Continental (2)	1,58	1,78	1,81	1,55	1,8	1,76	1,8	1,72	1,86	1,77	1,61		1,73
			2%	7%	6%	-9%	5%	3%	9%	-2%	6%	-1%	-10%		21%
2019 - 2020	23-24	Continental Pro (1)	1,65	1,76	1,81	1,86	1,72	1,78	1,75	1,85	1,89	1,89	1,93	1,84	1,81
			4%	-1%	0%	17%	-5%	1%	-3%	7%	2%	6%	17%		4%
2020 - 2021	24-25	Continental Pro (2)	1,68	1,81	1,82	1,83	1,93	1,92	1,89	1,85	1,91	1,88	1,94		1,86
			2%	3%	1%	-2%	11%	7%	7%	0%	1%	-1%	1%		3%

Tabla 14. Valores medios del Factor de Eficiencia (EF) de cada mes. Cuadro blanco: valor medio EF. Cuadro gris: porcentaje de cambio respecto a la temporada anterior,

Una última limitación a tener en cuenta es que tal y como se observa en la Tabla 14, algunos meses no cuentan con ningún valor a causa de que no hay datos de potencia dichos meses. Esto puede deberse tanto a que el sujeto no entrenó o compitió durante el mes, o porque no utilizó potenciómetro dicho mes. Esto, podría modificar ligeramente los resultados encontrados, aunque es cierto que al tratarse de un análisis a gran escala, los valores medios seguramente no hubieran sufrido cambios significativos.

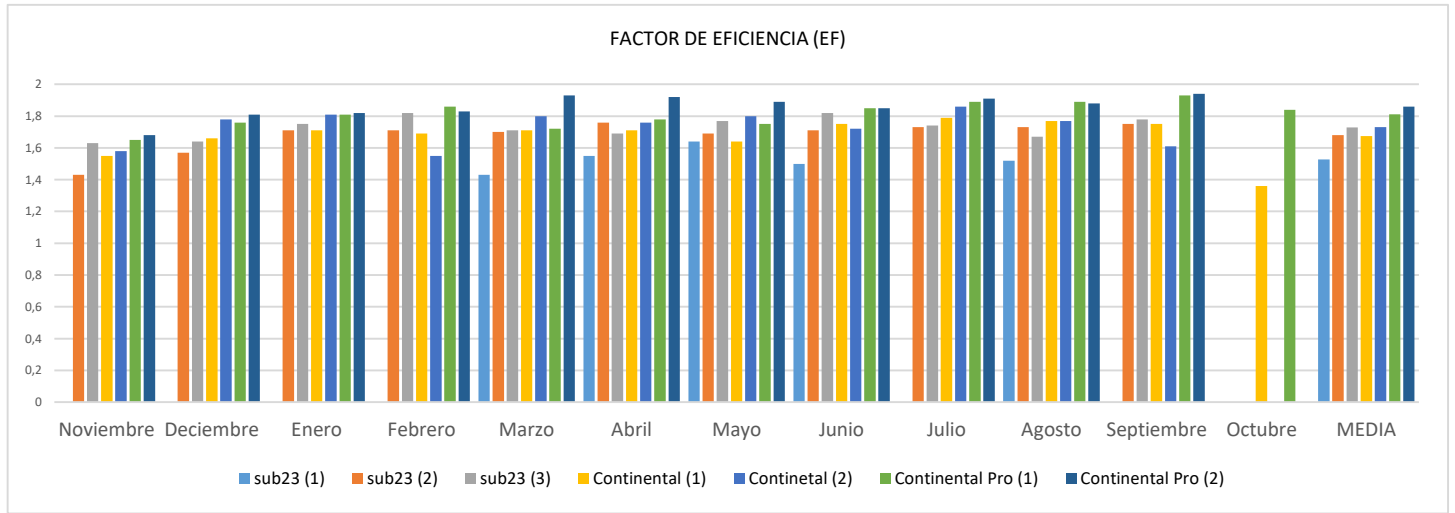


Gráfico 12. Valores medios del Factor de Eficiencia (EF) por mes y cada temporada.

CONCLUSIONES

En relación a las variables de entrenamiento, se ha encontrado un importante aumento en el volumen de entrenamiento (medido en duración y distancia), gasto energético (medido en kJ) y carga de entrenamiento (medido en TSS, CTL y ATL), siguiendo el principio de sobrecarga progresiva. Estos resultados van en la línea de los encontrados en la literatura científica (Pinot & Grappe, 2015 & Solli et al., 2017). Por otro lado, parece que la intensidad de entrenamiento no ha seguido esta misma línea, ya que la distribución de zonas muestra una ligera disminución de la intensidad severa, en beneficio de un mayor trabajo a zona inter umbrales (intensidad moderada) y de este modo acercándose a la distribución observada en otros ciclistas profesionales (van Erp et al., 2019c). El hecho de que la progresión se deba a un aumento del volumen más que de intensidad tiene sentido desde un punto de vista fisiológico, teniendo en cuenta el impacto que supone el trabajo a alta intensidad (Seiler et al., 2007 & Seiler 2010). Por lo tanto, se puede pensar que la intensidad tiene un menor margen de progresión si se quiere evitar el sobreentrenamiento.

En cuanto a los valores de rendimiento, podemos distinguir dos tendencias bien distintas: los valores en duraciones inferiores a cinco minutos (5", 30" y 1') se han mantenido estables e incluso son inferiores en comparación con los valores encontrados en el tercer y cuarto año del estudio. Por otro lado, los valores superiores (5', 10' y 20') sí que han tenido una importante mejora a lo largo del estudio. Teniendo en cuenta que tradicionalmente el consumo máximo de oxígeno se ha relacionado con esfuerzos máximos de alrededor de cinco minutos, se podría pensar que el sujeto ha mejorado tanto la capacidad como la potencia aeróbica, en detrimento de intensidades tradicionalmente llamadas "anaeróbicas". Este hallazgo coincide también con el cambio de distribución de intensidades, pasado de uno más polarizado a piramidal. Por lo tanto, es posible que el cambio observado también se deba a la especificidad del entrenamiento.

Otro interesante hallazgo es que los valores tras 35kJ/kg, la mejora es más significativa que los valores máximos sin fatiga previa. Esto va de la mano de varios estudios publicados recientemente que muestran que esta variable es más sensible a la hora de distinguir entre ciclistas World Tour y Continental Profesional (Muriel et al., 2021 & Mateo – March et al., 2022), por lo que parece que este parámetro puede ser un buen recurso si se quiere comparar la mejora de un sujeto que ya se encuentra a un muy alto nivel, siendo difícil seguir progresando a niveles máximos. Por lo tanto esta mejora de la durabilidad, seguramente también sea un buen indicador del desarrollo en la capacidad oxidativa del sujeto (Maunder et al., 2021). Este aumento de la durabilidad es seguramente uno de los puntos fuertes del sujeto en cuestión, ya que es la variable que más ha mejorado, situándose por encima de la media de su categoría (Mateo – March et al., 2022).

Por último, se ha encontrado una mejora del Factor de Eficiencia (EF) a lo largo del estudio, pudiendo indicar que también se da dado una adaptación cardíaca y un aumento del volumen sistólico. Analizando la trayectoria de dicha métrica, se ha observado una misma tendencia cada temporada, donde se daba una importante mejora durante los primeros meses del año probablemente debido al desentrenamiento sufrido tras el periodo de transición, y una vez llegado el periodo competitivo (alrededor de Febrero) esta métrica se estabiliza. De esta manera, aunque se estabilicen los valores durante la temporada, la siguiente temporada se parte de una base superior. Por lo tanto, parece que el EF sea una buena métrica a analizar tanto en los primeros meses del periodo preparatorio, como a gran escala al observar su evolución a lo largo de los años.

LIMITACIONES

Hay que reconocer que el presente estudio cuenta con varias e importantes limitaciones. Por un lado el sujeto ha contado con distintos potenciómetros a lo largo de los siete años, con las diferencias que se pueden dar entre estas marcas (Maier et al., 2017). Otra limitación se encuentra en la falta de datos en algunos momentos (falta de datos de potencia...) tal y como se ha explicado en puntos anteriores. Por último, se ha establecido, para cada temporada, un FTP multiplicando la media máxima de 20 minutos de esa misma temporada por 0,95. Este método, además de ser criticado por sobrevalorar el Máximo Estado Estable Metabólico (Lillo Beviá, 2019) y por analizar un único punto de toda la curva potencia – tiempo (Leo et al., 2021), puede sufrir importantes cambios a lo largo de la temporada (Nimmerichter et al., 2010) por lo que seguramente se haya infra estimado la carga de entrenamiento (medido en TSS) en varios momentos de la temporada, cuando el FTP real del sujeto era menor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arguedas, C., Sola J., Celdrán, R., Barranco, R & Garrido, G (2022). Potencia tus pedaladas 2: analiza tus datos de potencia. Planifica Asesores Deportivos SL.

Allen, H. & Coggan, A. (2010). Training and racing with a power meter: Velopress

Allen, S. V., & Hopkins, W. G. (2015). Age of peak competitive performance of elite athletes: a systematic review. *Sports Medicine*, 45(10), 1431-1441.

Balagué, N., & Martín, C. T. (2011). *Complejidad y deporte*. Inde.

Banister, E. W., Calvert, T. W., Savage, M. V., & Bach, T. (1975). A systems model of training for athletic performance. *Aust J Sports Med*, 7(3), 57-61.

Castronovo, A. M., Conforto, S., Schmid, M., Bibbo, D., & D'Alessio, T. (2013). How to assess performance in cycling: the multivariate nature of influencing factors and related indicators. *Frontiers in physiology*, 4, 116.

Celdrán, R. (2022). Resistencia a la fatiga y stamina. En I. Mujika (Ed.) *Potencia tus pedaladas 2: analiza tus datos de potencia* (pp. 177 - 201). Planifica Asesores Deportivos SL.

Cheung, S. (2018). Fisiología y genética del ciclismo. En M. Zabala & S. Cheung (Ed.). *La Ciencia del Ciclismo*. (pp.27 – 43). Ediciones Tutor.

Coffey, V. (2012). The molecular Bases of Endurance Training Adaptation. En I. Mujika (Ed.) *Endurance Training: Science and Practice* (pp. 117 - 127). Iñigo Mujika.

Filipas, L., Bonato, M., Gallo, G., & Codella, R. (2022). Effects of 16 weeks of pyramidal and polarized training intensity distributions in well-trained endurance runners. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 32(3), 498-511.

Gallo, G., Leo, P., Mateo-March, M., Giorgi, A., Faelli, E., Ruggeri, P., ... & Filipas, L. (2022). Cross-Sectional Differences in Race Demands Between Junior, Under 23, and Professional Road Cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(aop), 1-8.

Glazier, P. S. (2017). Towards a Grand Unified Theory of sports performance. *Human Movement Science*, 56, 139–156.

Green, H. J., Jones, L. L., & Painter, D. C. (1990). Effects of short-term training on cardiac function during prolonged exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 22(4), 488-493.

Government of Canada (2016). Long Term athlete development. Sport for live society. ISBN 978-1-927921-28-9

Goodman, J. M., Liu, P. P., & Green, H. J. (2005). Left ventricular adaptations following short-term endurance training. *Journal of applied physiology*, 98(2), 454-460.

Hackney, A. C. (2020). Hypogonadism in exercising males: dysfunction or adaptive-regulatory adjustment?. *Frontiers in Endocrinology*, 11.

Impey, S. G., Hearn, M. A., Hammond, K. M., Bartlett, J. D., Louis, J., Close, G. L., & Morton, J. P. (2018). Fuel for the work required: a theoretical framework for carbohydrate periodization and the glycogen threshold hypothesis. *Sports Medicine*, 48(5), 1031-1048.

Isla, G & Orbañanos, J. (2018). Análisis comparativo de la competición en el ciclismo amateur y profesional. Trabajo de grado, Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad del País Vasco, España.

Jeukendrup, A. E., Craig, N. P., & Hawley, J. A. (2000). The bioenergetics of world class cycling. *Journal of science and medicine in sport*, 3(4), 414-433.

Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of physiology*, 586(1), 35-44.

Kawamori, N., & Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 675-684.

Kristoffersen, M., Sandbakk, Ø., Rønnestad, B. R., & Gundersen, H. (2019). Comparison of short-sprint and heavy strength training on cycling performance. *Frontiers in Physiology*, 1132.

Lang, M., & Light, R. (2010). Interpreting and implementing the long term athlete development model: English swimming coaches' views on the (swimming) LTAD in practice. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 5(3), 389-402.

Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports medicine*, 32(1), 53-73.

Lillo Beviá, J. R. (2019). Protocolos y herramientas para la valoración y programación del ciclista: tiempos límite y tests de estimación del Máximo Estado Estable. Proyecto de investigación:.

Leo, P., Spragg, J., Simon, D., Lawley, J. S., & Mujika, I. (2020). Training characteristics and power profile of professional U23 cyclists throughout a competitive season. *Sports*, 8(12), 167.

Leo, P., Spragg, J., Podlogar, T., Lawley, J. S., & Mujika, I. (2021). Power profiling and the power-duration relationship in cycling: a narrative review. *European journal of applied physiology*, 1-16.

Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., Croix, M. B. D. S., Williams, C. A., Best, T. M., Alvar B. A., Michell. L. J., Thomas D. P., Hatfield. D L., Cronin, J. B., & Myer, G. D. (2015). Long-term athletic development-part 1: a pathway for all youth. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1439-1450.

Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., Croix, M. B. D. S., Williams, C. A., Best, T. M., Alvar B. A., Michell. L. J., Thomas D. P., Hatfield. D L., Cronin, J. B., & Myer, G. D. (2015). Long-

term athletic development, part 2: barriers to success and potential solutions. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1451-1464.

Lucía, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports medicine*, 31(5), 325-337.

Maier, T., Schmid, L., Müller, B., Steiner, T., & Wehrlin, J. P. (2017). Accuracy of cycling power meters against a mathematical model of treadmill cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 38(06), 456-461.

Mateo-March, M., Valenzuela, P. L., Muriel, X., Gandia-Soriano, A., Zabala, M., Lucia, A., Pallares, J.G. & Barranco-Gil, D. (2022). The Record Power Profile of Male Professional Cyclists: Fatigue Matters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(aop), 1-6.

Maunder, E., Seiler, S., Mildenhall, M. J., Kilding, A. E., & Plews, D. J. (2021). The importance of ‘durability’ in the physiological profiling of endurance athletes. *Sports Medicine*, 51(8), 1619-1628.

Mujika, I., & Padilla, S. (2001). Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports medicine*, 31(7), 479-487

Mujika, I. (2012). *Endurance Training: Science and Practice*. Iñigo Mujika.

Muriel, X., Mateo-March, M., Valenzuela, P. L., Zabala, M., Lucia, A., Pallares, J. G., & Barranco-Gil, D. (2021). Durability and repeatability of professional cyclists during a Grand Tour. *European journal of sport science*, 1-8.

Nattiv, A., De Souza, M. J., Koltun, K. J., Misra, M., Kussman, A., Williams, N. I., Barrack, M.T., Kraus, M., Joy, E. & Fredericson, M. (2021). The male athlete triad—a consensus statement from the Female and Male Athlete Triad Coalition Part 1: Definition and Scientific Basis. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 31(4), 335-348.

Nimmerichter, A., Williams, C., Bachl, N., & Eston, R. (2010). Evaluation of a field test to assess performance in elite cyclists. *International journal of sports medicine*, 31(03), 160-166.

Padilla, S., Mujika, I., Orbañanos, J., & Angulo, F. (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(4), 850–856.

Phillips, K. E., & Hopkins, W. G. (2020). Determinants of Cycling Performance: a Review of the Dimensions and Features Regulating Performance in Elite Cycling Competitions. *Sports medicine - open*, 6(1), 23

Pinot, J., & Grappe, F. (2011). The record power profile to assess performance in elite cyclists. *International journal of sports medicine*, 32(11), 839-844.

Pinot, J., & Grappe, F. (2015). A six-year monitoring case study of a top-10 cycling Grand Tour finisher. *Journal of sports sciences*, 33(9), 907-914.

Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(4), 603-612.

Rønnestad, B. R., Hansen, J., & Nygaard, H. (2017). 10 weeks of heavy strength training improves performance-related measurements in elite cyclists. *Journal of sports sciences*, 35(14), 1435-1441.

Sanders, D., Abt, G., Hesselink, M. K., Myers, T., & Akubat, I. (2017). Methods of monitoring training load and their relationships to changes in fitness and performance in competitive road cyclists. *International journal of sports physiology and performance*, 12(5), 668-675.

Sanders, D., Heijboer, M., Hesselink, M. K., Myers, T., & Akubat, I. (2018). Analysing a cycling grand tour: Can we monitor fatigue with intensity or load ratios?. *Journal of sports sciences*, 36(12), 1385-1391.

Sanders, D., van Erp, T., & de Koning, J. J. (2019). Intensity and load characteristics of professional road cycling: differences between men's and women's races. *International journal of sports physiology and performance*, 14(3), 296-302.

Sanders, D., & van Erp, T. (2020). The physical demands and power profile of professional men's cycling races: an updated review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(1), 3-12.

Saris, W. H. M., van Erp-Baart, M. A., Brouns, F. J. P. H., Westerterp, K. R., & Ten Hoor, F. (1989). Study on food intake and energy expenditure during extreme sustained exercise: the Tour de France. *International journal of sports medicine*, 10(S 1), S26-S31.

Schumacher, Y. O., & Mueller, P. (2002). The 4000-m team pursuit cycling world record: theoretical and practical aspects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(6), 1029-1036.

Seiler, S., Haugen, O., & Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(8), 1366-1373.

Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(3), 276-291.

Seiler, S. (2012). Training Intensity Distribution. En I. Mujika (Ed.) *Endurance Training: Science and Practice* (pp. 117 - 127). Iñigo Mujika.

Sreedhara, V. S. M., Mocko, G. M., & Hutchison, R. E. (2019). A survey of mathematical models of human performance using power and energy. *Sports medicine-open*, 5(1), 1-13.

Stellingwerff, T., Morton, J. P., & Burke, L. M. (2019). A framework for periodized nutrition for athletics. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(2), 141-151.

Stöggl, T., & Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Frontiers in physiology*, 5, 33.

Solli, G. S., Tønnessen, E., & Sandbakk, Ø. (2017). The training characteristics of the world's most successful female cross-country skier. *Frontiers in physiology*, 8, 1069.

Valenzuela, P. L., Muriel, X., van Erp, T., Mateo-March, M., Gandia-Soriano, A., Zabala, M., ... & Pallarés, J. G. (2022). The Record Power Profile of Male Professional Cyclists: Normative Values Obtained From a Large Database. *International journal of sports physiology and performance*, 1(aop), 1-10.

van Erp, T., Foster, C., & de Koning, J. J. (2019). Relationship between various training-load measures in elite cyclists during training, road races, and time trials. *International journal of sports physiology and performance*, 14(4), 493-500.

van Erp, T., Hoozemans, M., Foster, C., & de Koning, J. J. (2019). The influence of exercise intensity on the association between kilojoules spent and various training loads in professional cycling. *International journal of sports physiology and performance*, 14(10), 1395-1400.

van Erp, T., Sanders, D., & De Koning, J. J. (2019). Training characteristics of male and female professional road cyclists: a 4-year retrospective analysis. *International journal of sports physiology and performance*, 15(4), 534-540.

van Erp, T., Hoozemans, M., Foster, C., & De Koning, J. J. (2020). Case report: load, intensity, and performance characteristics in multiple grand tours. *Med Sci Sports Exerc*, 52(4), 868-875.

van Erp, T., Kittel, M., & Lamberts, R. P. (2021). Demands of the Tour de France: a case study of a world-class sprinter (part I). *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(9), 1363-1370.

van Erp, T., Lamberts, R. P., & Sanders, D. (2021). Power Profile of Top 5 Results in World Tour Cycling Races. *International journal of sports physiology and performance*, 17(2), 203-209.

van Erp, T., van der Hoorn, T., Hoozemans, M. J., Foster, C., & de Koning, J. J. (2021). Various workload models and the preseason are associated with injuries in professional female cyclists. *International journal of sports physiology and performance*, 17(2), 210-215.