



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

TRABAJO FINAL DE MASTER

APLICACIÓN DEL MODELO DOSIS-RESPUESTA DE BUSO A
CICLISTAS PROFESIONALES PARA CALCULAR SU CAPACIDAD
DE PREDICCIÓN.

Eva Polo González
Tutor: Diego Pastor Campos
Master Universitario en Rendimiento
Deportivo y Salud
Curso 2020/21

INTRODUCCIÓN TFM.

El entrenamiento es un proceso en el que los deportistas son expuestos a un estímulo de ejercicio sistemático y repetitivo con el objetivo de inducir adaptaciones específicas al mismo (Mujika, 2017). Este estímulo, conocido como carga de entrenamiento, viene determinado por los factores de volumen, intensidad y densidad, cuyo resultado es una relación causa-efecto entre la dosis de entrenamiento y su respuesta. Esta carga de entrenamiento podemos dividirla en dos aspectos clave. Por un lado, la carga externa, que es una medida objetiva del trabajo que el deportista completa durante cada entrenamiento o competición. Por otro lado, la carga interna, que corresponde con el desequilibrio homeostático de los procesos fisiológicos y metabólicos que tienen lugar durante su desarrollo (Mujika, 2017). Elevar la carga de entrenamiento puede suponer un aumento en las adaptaciones que pueden llegarse a obtener (Paton & Hopkins, 2005). Sin embargo, este hecho no se corresponde con una relación lineal. Para conseguir adaptaciones al entrenamiento y alcanzar picos de rendimiento es necesario conseguir la mejor relación posible entre la prescripción de cargas de alta intensidad y periodos de recuperación. Acumular ejercicio de alta intensidad con recuperaciones insuficientes entre entrenamientos, puede provocar un menor rendimiento del esperado (Manzi et al., 2015). Esto crea la necesidad de acercar al deportista a un estado de máxima tolerancia de carga, sin sobrepasar los límites, con el objetivo de alcanzar su máximo rendimiento deportivo. Si la carga aplicada es demasiado elevada y el tiempo de recuperación es insuficiente, se desarrollarán síntomas de fatiga como resultado de una falta de asimilación. Por ello, monitorizar y cuantificar la carga de entrenamiento es fundamental para determinar cuándo un deportista se adapta al programa de entrenamiento y minimizar el riesgo de sobreentrenamiento no funcional, lesión o enfermedad (Mujika, 2017).

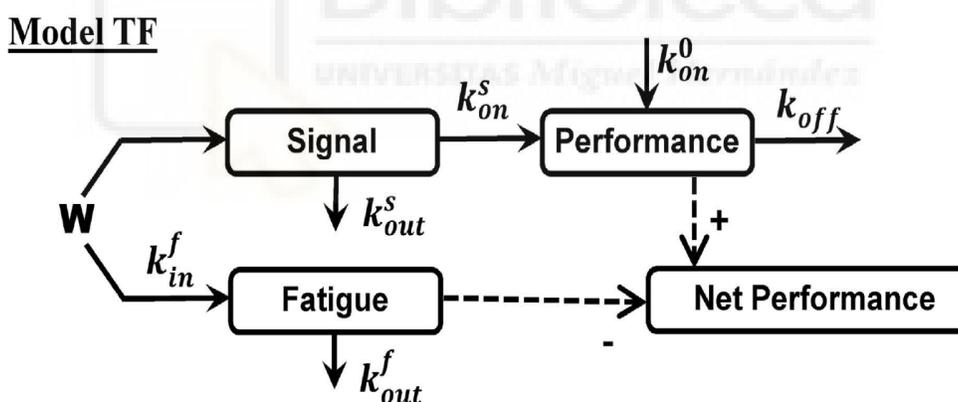
La búsqueda de un marcador capaz de trasladar e incorporar el estado fisiológico individual derivado de las medidas de carga interna a un programa de entrenamiento, se ha convertido en un tópico en la investigación de las ciencias del deporte (Bellenger et al., 2016). Esto permitiría el reconocimiento de la fatiga inducida por el entrenamiento y el nivel de recuperación o adaptación alcanzado, facilitando así los ajustes de carga e individualización necesarios para cada deportista. Con esta finalidad, surgen una serie de modelos matemáticos cuya propuesta se asienta en un modelo fitness-fatiga como respuesta a las adaptaciones del propio entrenamiento.

Los modelos matemáticos de análisis y predicción de rendimiento deportivo existen con la finalidad de optimizar los programas de entrenamiento (Busso, 2017). Estos fueron diseñados como un método de estudio y valoración de la dinámica de cambios en el rendimiento físico a lo largo del tiempo, en función de la dosis-respuesta de la carga de entrenamiento. Globalmente, consideran que el rendimiento en respuesta a un programa de entrenamiento es la combinación resultante de los efectos positivos (mejora del fitness) y negativos (fatiga) de cada una de las sesiones realizadas por el deportista. Existen numerosos estudios que han analizado las alteraciones biológicas en el entrenamiento comparando sus variables en función de los indicadores de fatiga y fitness que influyen en el rendimiento (Banister, 1991; Banister and Hamilton, 1985; Busso et al. 1990, 1992; Banister et al. 1975). Busso (1990) y Banister (1991) proponen la aplicación de la teoría de un sistema dinámico para describir la adaptación humana al entrenamiento. El deportista representa una caja negra en la que los sistemas de "out put" o "salida" se relacionan con el rendimiento como consecuencia de la aplicación de sucesivas cargas de entrenamiento, consideraras los "in put" o "entradas". Finalmente, surgen dos vertientes como modelos de detección fitness-fatiga. Por un lado Banister (1991) y Morton (1990) determinan que la fatiga y el fitness individual son asignados a funciones tanto positivas como negativas dentro del modelo matemático; por otro lado (Busso et

al. 1992) evoluciona hacia una combinación de dos componentes del modelo como indicadores de fatiga y fitness.

El descenso del rendimiento podría ocurrir inmediatamente después de una sesión de entrenamiento si la fatiga resulta ser mayor a la adaptación en dicha carga de entrenamiento. Sin embargo, cuando los efectos negativos de la fatiga son menores que la adaptación se alcanzaría el rendimiento. El análisis actual muestra que el modelo original propuesto por (Banister et al. 1991) permite una buena descripción de la dinámica de cambio en el rendimiento con el entrenamiento. Por ello, las modificaciones del modelo original han sido propuestas teniendo en cuenta la disminución de la efectividad del entrenamiento cuando este aumenta. Esto asume una variable dosis-respuesta con efectos negativos de las sesiones de entrenamiento variando en función del efecto acumulativo del mismo. El primer paso para construir modelos matemáticos de predicción de rendimiento es asumir que el cambio en el rendimiento es el resultado del efecto del entrenamiento en contra de la respuesta a la pérdida de adaptación. Todos ellos están basados en una respuesta indirecta a los estímulos primarios del entrenamiento, siendo la señal secundaria la que estimula el efecto de este. Adicionalmente, el entrenamiento puede actuar de forma negativa debido a la inhibición de las señales secundarias que conducen el efecto de este, o debido a que la fatiga contrarresta el efecto positivo del ejercicio.

El esquema básico de los modelos propuestos determina que el efecto del entrenamiento en el rendimiento (*Net Performance*) es la suma de las respuestas acumuladas a cada entrenamiento, producidas por un mecanismo indirecto como la estimulación o inhibición en la producción de un efecto. El proceso se describe como:



Es este sistema, la carga de entrenamiento (W) produce una señal positiva (Signal) que mejora el rendimiento (Performance) y al mismo tiempo dicha carga produce un efecto negativo de fatiga (Fatigue) que empeora el rendimiento final, entendido como el rendimiento del deportista menos la fatiga (Net Performance). Este proceso está determinado y controlado por variables arbitrarias (K) que determinan de forma exponencial el impacto tanto en la ganancia como en la pérdida de las variables.

En la actualidad, un gran número de programas de entrenamiento basan su estructura en este tipo de modelos, siguiendo el algoritmo fitness-fatiga para facilitar así el control de la planificación y la carga a la que es sometido el deportista. Dentro del ciclismo de competición, una de las plataformas más reconocidos es "Training-Peaks", cuya función se centra en el uso del Training Stress Score (TSS) del ciclista, recalculado a través de la potencia generada en cada entrenamiento para la posterior distribución de los ritmos óptimos de trabajo y el cálculo de las variables de

rendimiento siguiendo las fórmulas matemáticas comentadas. De esta forma, el modelo matemático tiene en cuenta la variable “ATL” o fatiga aguda generada en los últimos siete días; “CTL” o carga de entrenamiento crónica en los últimos 42 días y “TSB” o fatiga en el momento actual.

El objetivo de este trabajo es tratar de verificar la capacidad de predicción de rendimiento o la detección de las posibles variables que supondrían una mejora en el entrenamiento del deportista a través de este tipo de modelos. Para ello se han analizado una serie de datos de ciclistas profesionales registrados durante un tiempo prolongado. Por ello, el siguiente trabajo consiste en emplear el modelo matemático de Busso así como ciertas modificaciones con el objetivo de comprobar tras 3 meses de entrenamiento si existe una predicción acertada de un cuarto mes, así como qué variables son más determinantes dentro de la plataforma Training Peaks para obtener una mejor visión a cerca del rendimiento de estas deportistas.

MATERIAL Y MÉTODOS.

Participantes

Con el objetivo de crear curvas de predicción de rendimiento tomamos los datos cedidos de 3 ciclistas de élite femeninas que compiten en categoría World Tour. Las características generales de las participantes son las que se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de las participantes.

Edad (años)	20 ± 3
Peso (kg)	55 ± 4
Volumen entrenamiento semanal (horas)	20 ± 2
Carga semanal (TSS)	990 ± 50
Intensidad promedio semanal (IF)	0.70

Diseño experimental

El trabajo que se lleva a cabo a continuación es el resultado de la toma de datos realizada a lo largo de una temporada de cada una de las sesiones individuales de entrenamiento de las ciclistas. Dentro de cada sesión de entrenamiento encontramos las variables de rendimiento determinantes que aporta la plataforma de entrenamiento Training Peaks. Entre ellas, podemos destacar el tiempo transcurrido dentro de cada segmento del Perfil de Potencia (PP) por sesión individual de entrenamiento; la frecuencia cardiaca; la Potencia Normalizada de cada sesión (NP), que se corresponde con una estimación de la potencia que un deportista podría haber mantenido, con un mismo coste fisiológico, si su producción de potencia hubiera sido perfectamente constante (Allen & Coggan, 2010); el Intensity Factor (IF) o relación entre la potencia normalizada y la potencia del

ciclista a una intensidad de Umbral de Potencia Funcional (FTP) y el Training Stress Score (TSS) como factor de medida de carga de entrenamiento en función de la duración e intensidad del mismo.

A través de estos datos se establece la toma de dos variables de carga para el cálculo de nuestra variante del modelo matemático de (Busso, 1992) a través de una hoja de cálculo de Excel (Microsoft, Redmond, WA, USA). Por un lado, se determina la variable de “rendimiento” al realizar la división entre el dato extraído segundo a segundo de cada sesión individual de entrenamiento de vatios y frecuencia cardiaca; posteriormente se promedian los datos de toda la sesión con el objetivo de obtener una única medida de rendimiento por entrenamiento. Por otro lado, la variable “carga” se corresponde con la elección de los datos obtenidos de Potencia Normalizada (NP), Training Stress Score (TSS) e Intensity Factor (IF).

Cálculo de variables

Una vez obtenidas cada una de las variables que conforman la fórmula, se realiza un cálculo a través de la herramienta “Solver” que incorpora la hoja de cálculo de Excel. La variable “rendimiento” se mantendrá siempre fija en la fórmula; mientras que la variable “carga” será cambiante de forma que para cada ciclista se realizarán tres posibles cálculos de predicción de rendimiento en función del TSS, NP o IF. Para ello, se tomarán 75 días de datos reales, dejando los últimos 25 días como comparativa de la predicción de cada factor.

