

# TRABAJO FIN DE GRADO

“FACTORES LIMITANTES DEL RENDIMIENTO EN DEPORTES DE RESISTENCIA Y LOS PRINCIPIES MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES”



AUTOR: MIKEL QUELLE DÁVILA

DIRECTOR: JAVIER ORBAÑANOS PALACIOS

GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

CURSO ACADÉMICO: 17/18

## Índice

1. INTRODUCCIÓN:.....	3
2. OBJETIVOS FISIOLÓGICOS DEL ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA.....	4
2.1 VO <sub>2</sub> MAX.....	5
2.2 UMBRAL DE LACTATO .....	6
2.3 ECONOMÍA DE CARRERA.....	8
3. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE ENTRENAMIENTO.....	12
3.1 COMO MEDIR LA DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES.....	12
4. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES.....	14
4.1 ESTUDIOS ANALIZANDO LOS TRES MODELOS DE TID .....	15
5. CONCLUSIONES:.....	23
6. REFERENCIAS: .....	25

## 1. INTRODUCCIÓN:

El entrenamiento deportivo es una ciencia en la que se manipulan diferentes variables con un mismo fin: la mejora del rendimiento en un determinado deporte o actividad. El diseño de un programa de entrenamiento exitoso requiere una correcta organización sistemática del proceso de entrenamiento, esto involucra la manipulación de la intensidad, duración y frecuencia del entrenamiento, con el objetivo de maximizar la ganancia de rendimiento, reducir el riesgo de resultados de entrenamiento negativos y periodizar picos de forma en los momentos clave de la temporada (Seiler, 2010).

La intensidad y la duración del trabajo así como los periodos de recuperación definen la sobrecarga y adaptación en los atletas (Faulkner, 1968) . El entrenamiento de resistencia implica la manipulación de la intensidad, duración y frecuencia de los entrenamientos (Kenneally, Casado, & Santos-Concejero, 2011). Para el estudio de la distribución de intensidades de entrenamiento (TID) se han descrito varias zonas de entrenamiento. Estas zonas han sido determinadas por diferentes factores fisiológicos y psicológicos: umbral de lactato (MLSS), umbrales ventilatorios (VT), porcentaje del consumo máximo de oxígeno ( $\%VO_{2max}$ ), porcentaje de la frecuencia cardiaca máxima ( $\%HR$ ) o la escala de esfuerzo percibido de la sesión (RPE-Escala de Borg) entre otros (Seiler & Kjerland, 2006).

En la literatura científica generalmente se utilizan tres zonas de entrenamiento para describir la TID en deportes de resistencia. Tanto la TID como la periodización del volumen e intensidad del entrenamiento son tradicionalmente consideradas como factores importantes en el diseño de programas de entrenamiento (Kenneally et al., 2011).

En esta revisión bibliográfica se describirán los objetivos fisiológicos del entrenamiento de resistencia, así como las principales TID. Todo ello, en base a la distribución de tres zonas de entrenamiento previamente mencionadas. Finalmente, se analizará si existe un modelo de distribución de intensidades óptimo para los deportes de resistencia.

## 2. OBJETIVOS FISIOLÓGICOS DEL ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA

En los deportes de resistencia existen tres factores de vital importancia para el rendimiento deportivo: el consumo de oxígeno máximo ( $VO_{2max}$ ), el llamado 'umbral de lactato' (MLSS) y la eficiencia para generar velocidades o potencias en la propia actividad competitiva. El  $VO_{2max}$  y el umbral de lactato interactúan para determinar el rendimiento  $VO_2$ , es decir, el consumo de oxígeno que puede ser sostenido durante un periodo de tiempo. La eficiencia interactúa con el rendimiento  $VO_2$  para estabilizar la velocidad o la potencia que puede ser generada en dicho consumo de oxígeno (Joyner & Coyle, 2008). Los factores mencionados y los componentes que influyen en cada uno de ellos pueden observarse en la figura 1.

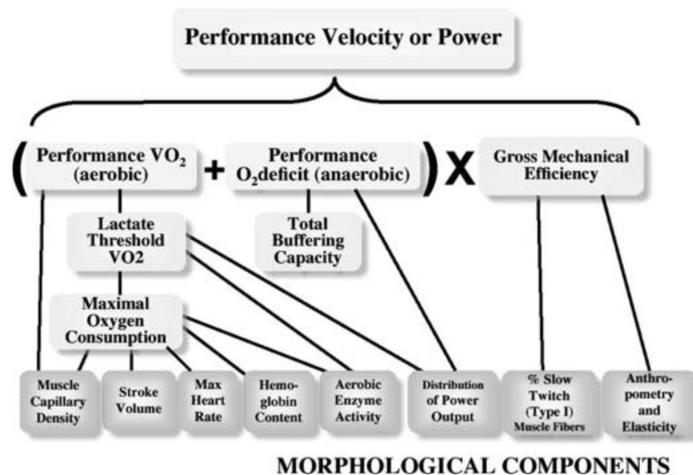


Figura 1: Esquema general de los múltiples factores fisiológicos que interactúan de forma determinante en el rendimiento de resistencia ( Joyner & Coyle, 2008).

Como se observará a lo largo de esta revisión, la mayoría de los estudios sobre el rendimiento en deportes de resistencia se centran en la carrera de larga distancia y en el ciclismo de resistencia. Esto sucede por tres razones principales: por un lado, porque ambos son eventos estándares y muy fáciles de registrar. Además, cabe destacar la gran base de datos que existe en términos de datos fisiológicos de atletas de élite. Y por último, la facilidad de simular las condiciones de una carrera usando un cicloergómetro o tapiz rodante en el laboratorio (Joyner & Coyle, 2008).

## 2.1 VO<sub>2</sub>MAX

Los expertos en este ámbito han desarrollado diversas hipótesis analizando los factores limitantes en deportes de resistencia (Bassett & Howley, 2000; J. Joyner, 1993; J Joyner, 1991). El primer componente en cuestión es el nivel de metabolismo aeróbico que puede ser mantenido durante una carrera.

En 1930 los altos valores de VO<sub>2max</sub> observados en los atletas se identificaron como señal del rendimiento de élite (Haugen et al., 2017). Los atletas campeones en deportes de resistencia tienen valores de VO<sub>2max</sub> entre 70 y 85ml/kg/min, siendo los valores de las mujeres un 10% menor que la media de los hombres. Esto se debe a una menor concentración de hemoglobina y mayores niveles de grasa corporal (Joyner & Coyle, 2008; Watson & Devenney, 1972).

En resumen, los valores de VO<sub>2max</sub> de campeones en deportes de resistencia son entre un 50-100% más altos en comparación con sujetos jóvenes normalmente activos y sanos. Las adaptaciones más sorprendentes al entrenamiento que contribuyen a un mayor VO<sub>2max</sub> son: el aumento del volumen cardiaco, el incremento del volumen sanguíneo, el incremento de densidad capilar y la densidad mitocondrial en los músculos entrenados (Costill et al. 1976). Entre los factores mencionados, el más determinante es el volumen cardiaco (Ekblom & Hermansen, 1968; Coyle et al. 1984; Martin, Coyle, Bloomfield, & Ehsani, 1986). De lo analizado hasta ahora se puede concluir que los corredores de élite tienen un mayor valor de VO<sub>2max</sub>.

Por otro lado, cabe destacar que la intensidad a la que se realiza una carrera dependerá de su duración. Para eventos de más de 10 o 15 minutos de duración, la competición se realizará a una velocidad media que no provocará llegar al VO<sub>2max</sub>. En los maratones, la mayoría de los kilómetros (Km) se corren aproximadamente a un 75-85% del VO<sub>2max</sub>, mientras que en una carrera de 10 km se corre a un 90-100% del VO<sub>2max</sub>. Por último, en una carrera de 5 km se corre cerca del VO<sub>2max</sub> (Bassett & Howley, 2000; Cotill et al. 1973).

## 2.2 UMBRAL DE LACTATO

En las líneas anteriores se ha determinado la importancia del  $VO_{2max}$  para los deportistas de resistencia. En el siguiente apartado se estudia la fracción de  $VO_{2max}$  que puede ser sostenida por un determinado periodo de tiempo y la contribución de la glucólisis en los músculos activos en esa determinada tasa de oxidación mitocondrial.

En la figura 2 y de acuerdo con lo expuesto en las líneas previas, se puede observar la relación curvilínea entre la acumulación de lactato en sangre (LT) durante el ejercicio y la distancia de ese esfuerzo. Además, este planteamiento expuesto respalda la idea de que la tasa de metabolismo aeróbico mantenida durante un evento deportivo puede ser descrita por el grado de estrés glucolítico muscular, que a su vez se refleja en la producción de lactato (Farrell, Wilmore, Coyle, Billing, & Costill, 1979; Spath, 1981)

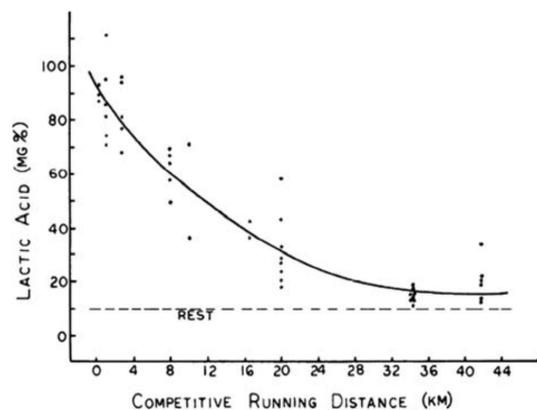


Figura 2. Concentración de ácido láctico en sangre vs distancia de carrera (Costill, 1970).

Tal y como se muestra en la figura tres, en el caso de los atletas desentrenados a medida que aumenta la velocidad de carrera o potencia del cicloergómetro, la concentración de lactato en sangre no aumenta significativamente hasta alcanzar el 60% del  $VO_{2max}$ . En cambio en los sujetos entrenados este valor puede ser el 75-90% del  $VO_{2max}$  (Farrell et al., 1979).

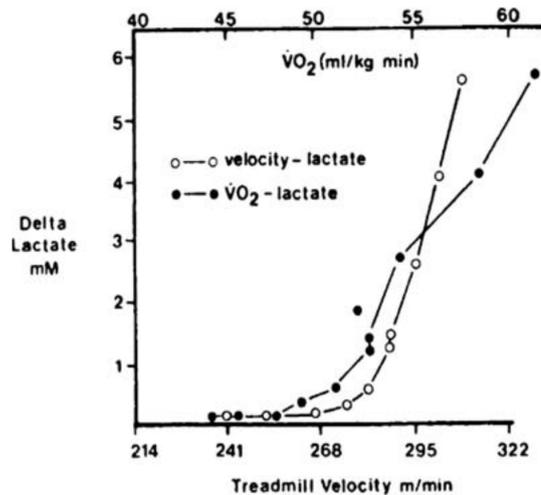


Figura 3. Record individual de velocidad y  $\dot{V}O_2$  en tapiz rodante versus concentración de lactato en sangre en sujetos capaces de romper la marca de 2:30 en maratón (Farrell et al., 1979).

El umbral de lactato está determinado principalmente por la capacidad oxidativa del músculo esquelético (Holloszy, Rennie, Hickson, Conlee, & Hagberg, 1977; Joyner & Coyle, 2008; Davies et al. 1982). Esta capacidad es altamente plástica y puede incrementarse más del doble en músculos esqueléticos entrenados que participen en 20-120 minutos de entrenamiento a la intensidad requerida (Holloszy et al., 1977; Joyner & Coyle, 2008). Esta mayor capacidad oxidativa, está directamente relacionada con los altos valores de umbral de lactato que se observan en atletas élite de resistencia. Esto significa que los atletas de elite, pueden mantener un consumo de oxígeno más elevado durante más tiempo. De esta manera, pueden mantener una intensidad más alta sin sobrepasar el umbral anaeróbico (MLSS) y permitiéndoles así poder sostener velocidades de 20km/h corriendo o de 400W en bici (Joyner & Coyle, 2008).

La masa muscular reclutada tiene gran influencia en el consumo de oxígeno. Otro de los factores que reduce la fatiga muscular y la producción de lactato en ejercicios al 85-90% del  $\dot{V}O_{2max}$ , es la cantidad de masa muscular que el atleta es capaz de reclutar para compartir la producción de fuerza requerida para mantener dicha intensidad a lo largo del tiempo. Durante una hora de ciclismo, los deportistas de élite son capaces de repartir el trabajo muscular un 20-25% más que los desentrenados, reduciendo así la relativa producción de fuerza y el estrés en cada fibra muscular aplicada (Joyner & Coyle, 2008). Estos factores (el umbral de lactato y el reclutamiento muscular)

deben operar complementariamente para reducir el estrés por mitocondria y fibra muscular.

Cuando el ejercicio se extiende más allá de las 2h, el problema está en la depleción de los sustratos energéticos, ya que el glucógeno almacenado en el musculo esquelético se agota. Por lo que, la cantidad de ATP generado por oxidación y el mantenimiento del ritmo de carrera, dependerá de la habilidad del musculo activo para obtener glucosa de la sangre. En algunos sujetos la reducción de la glucemia se asocia a una hipoglucemia, que limita la habilidad del individuo a continuar con el ejercicio (Coyle et al., 1983; Coyle, Coggan, Hemmert, & Ivy, 1986). Para dar respuesta a este factor limitante se han desarrollado varias estrategias nutricionales y productos pre-competición e intra-competición para la sustitución de los sustratos energéticos (Murray, 1998).

## 2.3 ECONOMÍA DE CARRERA

El siguiente factor a tener en consideración para el rendimiento en deportes de resistencia se denomina 'Economía' o 'Eficiencia'. Como se puede observar en las líneas anteriores, el  $VO_{2max}$  y el umbral determinan el rendimiento aeróbico. La economía se entiende como el consumo de oxígeno ( $VO_2$  ml/kg/min) necesario para realizar una determinada tarea. La economía de carrera, se representa como el consumo de oxígeno existente en una determinada velocidad de carrera 9-20km/h. Como se puede apreciar en la figura 4, el coste de oxígeno puede variar un 30-40% entre individuos en la carrera a pie (ml/kg/min) a una determinada velocidad (Conley & Krahenbuhl, 1980; Farrell et al., 1979; Joyner, 1991).

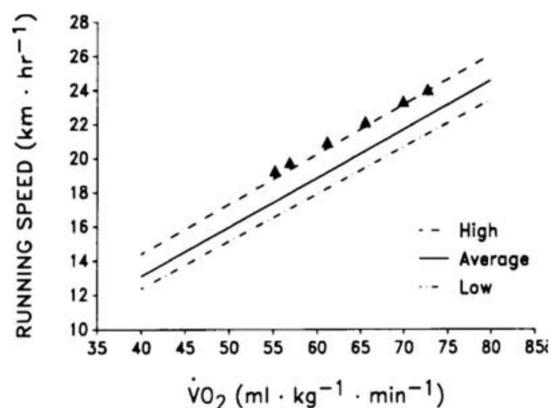


Figura 4. Líneas regresivas de economía de Carrera (eficiencia) alta, media y baja en corredores de resistencia de élite (Joyner, 1991).

En el ciclismo sucede algo similar, dado que en ciclistas entrenados, la eficiencia mecánica neta en 300W puede variar un 18,5-23,5%. Como puede apreciarse en la figura cinco del estudio de Coyle et al, 1992, la mayor parte de esta variabilidad está relacionada con el porcentaje de fibras tipo I (fibras lentas) del vasto lateral del deportista. La eficiencia con la que la energía química del ATP es hidrolizada y convertida en trabajo físico depende de en gran medida de la velocidad de contracción del sarcómero y de la fibra muscular. Las fibras tipo I tienen mayor eficiencia mecánica cuando se pedalea en cadencias entre 60 y 120 rpm ( Joyner & Coyle, 2008).

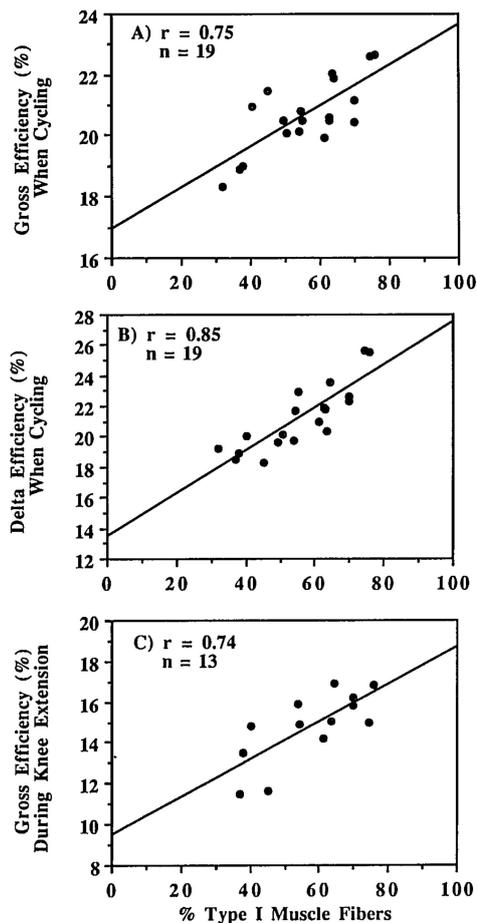


Figura 5. La relación entre el % de fibras musculares tipo I y la eficiencia en el ciclismo analizado a 80rpm (Edward F. Coyle, Sidossis, Horowitz, & Beltz, 1992).

En un análisis realizado sobre los cambios en la frecuencia de pedaleo se observó cómo los sujetos con mayores niveles de miosina de cadena pesada I (MHC I, el tipo de miosina predominante en las fibras tipo I), elegían una frecuencia de pedaleo más alta. Este hecho está estrechamente relacionado con el pico de eficiencia mecánica. Analizando los resultados obtenidos, especularon que los patrones de control motor en estos sujetos favorecen a una cadencia más rápida. Es por esto que aplican menos fuerza a cada pedalada para generar la misma producción de fuerza y así conservan las unidades motoras de mayor fuerza (Hansen, Andersen, Nielsen, & Sjøgaard, 2002).

La carrera a pie requiere un movimiento más complejo que el del ciclismo. Existe un mayor elongamiento muscular antes de su contracción para un mayor aprovechamiento de la energía elástica. Aunque han sido muchos los expertos que han estudiado los factores biomecánicos y anatómicos, que

permiten que entre dos sujetos pueda haber una diferencia de un 30-40% en el gasto energético por kilogramo de masa corporal para moverse a una misma velocidad, la etiología de la economía de carrera sigue siendo un misterio. Es por eso que actualmente, las descripciones biomecánicas de la carrera no son buenos predictores de la economía de carrera (Kyröläinen, Belli, & Komi, 2001; Williams, 2007).

En los corredores de fondo de élite, habitualmente existe una predominancia de las fibras tipo I (Bosco et al., 1987; Fink, Costill, & Pollock, 1977). Esto coincide con la hipótesis de que la economía de carrera refleja la interacción de numerosos factores, incluyendo la morfología muscular, los elementos elásticos y el conjunto de mecánicas en la eficiencia de transferir el ATP a velocidad de carrera (Joyner & Coyle, 2008).

Tradicionalmente se ha afirmado que el entrenamiento no mejora la eficiencia en bici ni la economía de carrera (Achten, 2004). A lo sumo, se empezaba a percibir una mejora en la economía de carrera transcurrido el segundo mes con la introducción del entrenamiento explosivo al programa de entrenamiento como puede observarse en la figura seis (Millet, Jaouen, Borrani, & Candau, 2002; Paavolainen et al., 2015). No hay información longitudinal completa sobre cambios provocados por el entrenamiento en la economía de carrera o eficiencia de pedaleo en grupos de atletas de resistencia. Sin embargo, existen dos casos que reportan que la economía de carrera se puede mejorar con los años de entrenamiento en los atletas de élite (Conley, Krahenbuhl, Burkett, & Millar, 1984; Jones, 2006). En primer lugar, la actual mujer poseedora del récord del mundo de maratón mostró una destacable mejora del 14% en la economía de carrera durante 5 años de entrenamiento (Jones, 2006). Este caso sugiere que la eficiencia muscular y la economía de carrera mejoran un 1-3% anualmente con el continuo entrenamiento de la resistencia. Una de las hipótesis que explica esta mejora respalda que algunas de las fibras rápidas cambian a ser más eficientes con el entrenamiento de resistencia (Joyner & Coyle, 2008). Asimismo, en algunos modelos de uso muscular extremo, puede haber un cambio completo de las fibras rápidas a fibras lentas. Esto ocurre en atletas de élite que entrenan por un tiempo igual o superior a las dos horas al día durante muchos años.

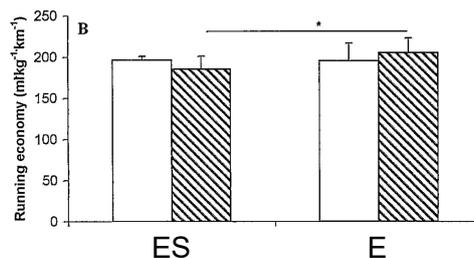


Figura 6: Cambios en la economía de carrera en el momento anterior (barra blanca) y posterior (barra negra) en el grupo de entrenamiento de resistencia y fuerza (ES; N=7) y en el grupo de entrenamiento únicamente de resistencia (E; N=8). \*P<0.05, \*\*P<0.01 (Millet et al., 2002).

### 3. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE ENTRENAMIENTO

Hasta este apartado se ha tratado de determinar cuáles son los factores fisiológicos más determinantes en los deportes de resistencia. Durante las siguientes líneas, se definirán los modelos principales de distribuciones de entrenamiento. Para ello, es necesario definir primero en base a qué zonas se realizaran dichas distribuciones.

Un entrenamiento de resistencia exitoso involucra la manipulación de la intensidad, duración y frecuencia del entrenamiento. Todo ello con el objetivo de maximizar la ganancia de rendimiento, reducir el riesgo de resultados de entrenamiento negativos y periodizar picos de forma en los momentos clave de la temporada. Dentro de las diferentes escalas de intensidades, los términos más utilizados son: Entrenamiento de baja intensidad y larga duración (*Low intensity training* LIT), entrenamiento de umbral (*Threshold training* THR) y el entrenamiento de alta intensidad (*High intensity training* HIT) (Seiler, 2010).

#### 3.1 COMO MEDIR LA DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES

Actualmente existe un debate abierto sobre como cuantificar las variables que determinaran el modelo de TID. El volumen del entrenamiento se mide en términos de distancia (kilómetros corridos anualmente) o de tiempo (horas de entrenamiento anual). La cantidad de horas efectivas de entrenamiento es el parámetro más fácil de comparar en los deportes de resistencia, pero cuantificar la intensidad del entrenamiento es un trabajo más complejo. Para poder comparar la distribución de intensidades de entrenamiento se necesita una escala común de intensidades. En la mayoría de los deportes, la escala de intensidad de basa en la proporción de la

frecuencia cardiaca máxima (%HR) y en la concentración de lactato en sangre (LT). A menudo, el entrenamiento aeróbico, en intensidades de 50-100% del  $VO_{2max}$  se divide en 5 zonas de intensidad (Seiler, 2010). Un lenguaje de distribución de intensidades estándar debería dar importancia a la diferencia existente entre lo que el entrenador prescribe y el atleta percibe de dicha prescripción (Seiler, 2010). En un estudio de Foster et al, 2001, registró que los atletas de nivel medio tienden a entrenar más duro los días planeados como suaves, y entrenar a más baja intensidad los días planeados como duros (Foster, Heimann, Esten, Brice, & Porcari, 2001).

La mayoría de los estudios utilizan como base un modelo de tres zonas de intensidades determinadas por los umbrales ventilatorios, tal y como se observa en la figura siete (Esteve-Lanao, San Juan, Earnest, Foster, & Lucia, 2005; Zapico et al., 2007). Para los atletas bien entrenados, se utilizan los términos LIT para referirse a trabajos con una concentración estable de lactato en sangre por debajo de aproximadamente 2mM y el HIT para referirse a trabajos por encima del máximo estado estable de lactato (MLSS) situado por encima de 4mM aproximadamente. Por último, para el entrenamiento que se realiza entre los 2 y 4mM de lactato en sangre, se utiliza la nomenclatura THR (Seiler, 2010).

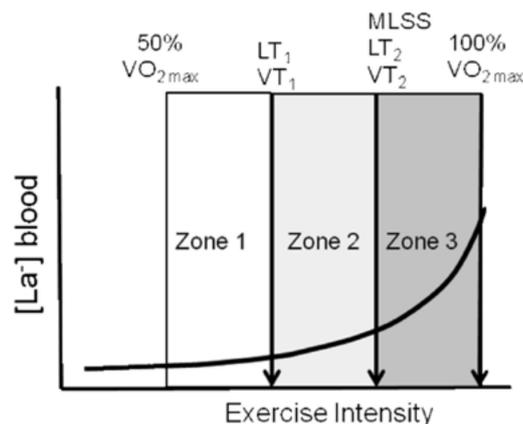


Figura 7. Un modelo de zonas de 3 intensidades basado en la identificación de los umbrales ventilatorios (Seiler, 2010).

En numerosos estudios sobre la distribución de intensidades de entrenamiento, se utilizan diferentes métodos para cuantificar la intensidad. Una de ellas es la metodología del ritmo de carrera: por debajo del ritmo de maratón LIT, ritmo de 10Km THR y ritmo de 3Km HIT. Esta metodología ha

sido usada también en conjunto con test fisiológicos (Billat, Demarle, Slawinski, Paiva, & Koralsztein, 2001; Karp, 2007). Existe otra metodología denominada 'Tiempo en Zona', en la que se cuantifica el tiempo realizado en las distintas zonas de la frecuencia cardiaca (%HR). Aun siendo un método no invasivo, individualizado y sencillo, tiende a subestimar el tiempo realizado en alta intensidad, ya que la frecuencia cardiaca no sube al mismo tiempo que la intensidad del ejercicio en los intervalos de intensidad. Además, no corresponde con el esfuerzo percibido por el deportista (Kenneally et al., 2011).

#### 4. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES

A continuación, y tal y como se observa en la figura ocho, se describen tres modelos de TID diferentes, basados en los umbrales ventilatorios y en los umbrales de lactato. El primer modelo de distribución se conoce como distribución piramidal o tradicional (PYR), donde la distribución es la siguiente: 80% de LIT (Zona 1,  $<VT_1$ ,  $<2\text{mmol}$ ) y el 20% restante entre las zonas THR (Zona 2, entre  $VT_1$  y  $VT_2$ , entre  $2\text{mmol}$  y  $4\text{mmol}$ ) y HIT (Zona 3,  $>VT_1$ ,  $>4\text{mmol}$ ) aproximadamente. El segundo modelo se conoce como la distribución polarizada (POL), en la que la distribución es la siguiente: 80% LIT (Zona 1,  $<VT_1$ ,  $<2\text{mmol}$ ) y el 20% restante en HIT (Zona 3,  $>VT_2$ ,  $>4\text{mmol}$ ) aproximadamente. Y por último se encuentra la distribución umbral (THR), en la que grandes volúmenes de entrenamiento ( $>20\%$ ) se desarrollan en THR (Zona 2, Entre  $VT_1$  y  $VT_2$ , entre  $2\text{mmol}$  y  $4\text{mmol}$ ) (Seiler, 2010).

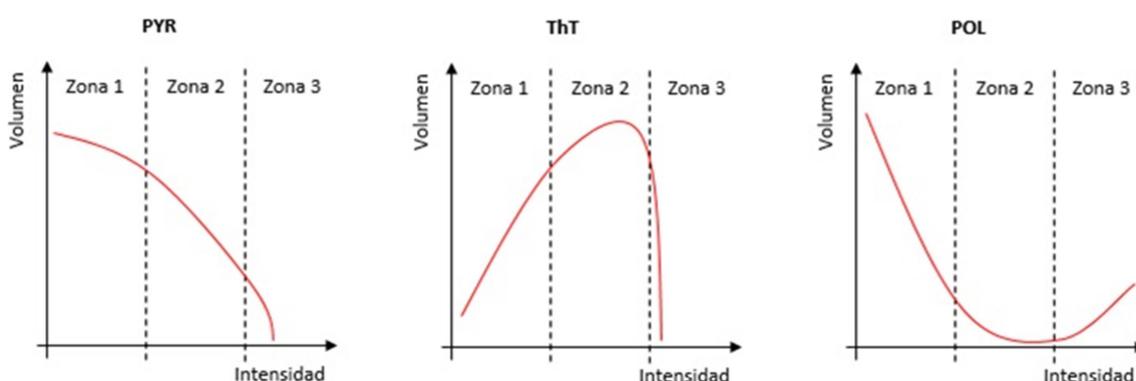


Figura 8. Comparación entre las principales TID: Pyr, Thr y Pol (Bruno, 2013).

#### 4.1 ESTUDIOS ANALIZANDO LOS TRES MODELOS DE TID

En el siguiente apartado se analizarán los diversos estudios que se han llevado a cabo en este ámbito y las conclusiones de los mismos, con el objetivo de conseguir una imagen global de cada uno de los modelos TID y conocer así si existe algún modelo más eficiente que otro.

En un estudio realizado por Esteve-Lano (2005), se comparan 2 tipos de programas de entrenamiento con un volumen de entrenamiento relativamente similar. 12 atletas sub-élite, especialistas en 5000m fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos de entrenamiento. Uno primaba el entrenamiento a baja intensidad (Z1) y el otro a la moderada-alta intensidad (Z2). Al inicio del estudio cada atleta realizó una prueba de esfuerzo máxima para determinar sus umbrales ventilatorios y se les controló con la frecuencia cardiaca durante los 5 meses de entrenamiento. Los sujetos realizaron una simulación de carrera de cross de 10,4km antes y después del entrenamiento. El entrenamiento se cuantificó en base al tiempo realizado en cada una de las 3 zonas de entrenamiento: LIT (<VT1 o), THR (entre VT1 y VT2 o THR) y HIT (>VT2 o HIT). El volumen invertido en las zonas 1 y 2 de entrenamiento fue el siguiente: en LIT ( $80,5 \pm 1,8\%$  y  $11,8\% \pm 2,0\%$  respectivamente) y en THR ( $66,8 \pm 1,1\%$  y  $24,7 \pm 1,5\%$  respectivamente) siendo el volumen en HIT similar ( $8,3 \pm 0,7\%$  [Z1] y  $8,5 \pm 1,0\%$  [Z2]). La magnitud de la mejora en el rendimiento de carrera fue significativamente mayor ( $p=0,03$ ) en el grupo Z1 ( $-157 \pm 13$  segundos) que en Z2 ( $-121 \pm 7,1$  segundos). Estos resultados prevén la importancia de dedicar un porcentaje alto del entrenamiento a baja intensidad durante un periodo largo de tiempo, indicando que la contribución de entrenamiento a alta intensidad es suficiente (Esteve-Lanao et al., 2005).

Otro estudio relevante es el realizado por Suárez & González-Ravé (2014) que examinaron el efecto de aplicar un TID piramidal durante cuatro semanas a 30 atletas amateurs divididos en tres grupos (Suárez & González-Ravé, 2014). El primer grupo mantenía la carga de entrenamiento en cuanto a volumen e intensidad se refiere durante las cuatro semanas. El segundo grupo aumentó la carga de entrenamiento mediante el incremento progresivo de la intensidad semanal. El tercer grupo no tenía indicaciones específicas de entrenamiento. El volumen total de entrenamiento se registró en minutos. El

grupo de carga constante completó  $1051 \pm 11$  minutos, el grupo de carga incremental completó  $1105 \pm 1,3$  minutos y el grupo libre completó  $1512 \pm 67,6$  minutos. El objetivo del entrenamiento era mejorar la resistencia aeróbica, y esto se controló con test de laboratorio realizados antes y después del entrenamiento. Al analizar las conclusiones obtenidas en este estudio, no se apreciaron cambios significativos en cuanto a la resistencia aeróbica en ninguno de los grupos. Sin embargo, en un estudio posterior de Clemente Suarez et al., en el cual se usaron los datos del estudio anteriormente mencionado, encontraron que el segundo grupo que incrementó la intensidad del entrenamiento durante las cuatro semanas, mejoraron significativamente más su velocidad a  $8 \text{ mmol/L}$  (citado en Kenneally et al., 2011, p. 9).

Otro de los estudios sobre la distribución de intensidades de entrenamiento es realizado por Enoksen & Tjelta, (2010) en el cual se describió el entrenamiento de un grupo de cuatro atletas elite junior de cross country durante una temporada dividida en tres fases: base, pista y corss country. Se definieron cinco zonas de entrenamiento, basadas en la frecuencia cardiaca y lactato en sangre para describir la distribución de intensidades. El entrenamiento realizado en este estudio puede ser definido como una distribución tradicional o piramidal, con un 78%, 81% y 78% del volumen de entrenamiento desarrollado en la zona de baja intensidad LIT, en los periodos, base, pista y cross country respectivamente. La intensidad de carrera para estos atletas fue realizada en zona 3 (ritmo de 10km y 3km) durante toda la temporada, con algo de Z4 (ritmo de 1500m) durante la temporada de pista. La fase de entrenamiento próxima a las competiciones se caracteriza por un incremento de volumen a velocidad de carrera y velocidades cercanas a esta, tanto superiores como inferiores (zona 3 y zona 4) (Tjelta & Enoksen, 2010). En este estudio la TID fue calculada de acuerdo a la velocidad de carrera. El volumen de entrenamiento realizado por encima del ritmo de carrera fue similar al utilizado en otros estudios, en los que se analizan tanto una distribución piramidal como una polarizada (Billat et al., 2003; Enoksen et al., 2011; Manzi et al., 2015; Tjelta, Tønnessen, & Enoksen, 2014).

En un análisis de Robinson et al (1991), analizaron a 13 corredores nacionales de Nueva Zelanda durante su fase de desarrollo. Identificaron dos zonas de entrenamiento por debajo de LT ( $4 \text{ mmol/L}$ ) o por encima. Durante ese

periodo de entrenamiento, hicieron el 96% del tiempo entrenaron debajo de LT y un 4% por encima de LT (Citado en, Kenneally et al., 2011, p.9).

En el siguiente estudio se analizaron a seis atletas Noruegos internacionales de maratón de elite. Se identificaron siete zonas de entrenamiento que fueron utilizadas para determinar la distribución de intensidades. Los corredores de maratón realizaron relativamente una mayor proporción del tiempo de entrenamiento en zona 2 (equivalente al ritmo de maratón) y en zona 4 (equivalente al ritmo de 10Km) en la fase base y pre competitiva, invirtiendo poco tiempo en zona 3 (ritmo de media maratón). Después, en la fase competitiva no entrenaban en zona 4 e incrementaban el volumen en zona 3, manteniendo relativamente una alta proporción en zona 2 (Enoksen et al., 2011).

En 2013 Tjelta analizó el entrenamiento del campeón europeo de 1500m durante cuatro años, e identificó una distribución piramidal durante los cuatro años analizados. Cabe destacar que pese a que en líneas generales la distribución fue piramidal, ésta cambió en algunos puntos de la temporada en los cuales variaba según la periodización del entrenamiento del atleta. Se describieron cinco zonas de intensidades, y durante todas las fases del entrenamiento se realizó un alto volumen de entrenamiento en zona 2 (THR). Este valor se reducía a medida que se acercaban las competiciones, aunque seguía siendo mayor en proporción al entrenamiento en zona 3, 4 o 5 (Tjelta, 2013).

Así mismo, el entrenamiento del nueve veces campeón del maratón de New York, Grete Waitz, fue reportado como piramidal en todos los momentos durante un lapso de 2 años (Tjelta et al., 2014). En esta periodización se identificaron siete zonas de intensidad y se observó una reducción del volumen de entrenamiento y un incremento de la intensidad.

En un estudio de Muñoz et al., (2014) realizado a un grupo de 30 atletas recreacionales se cuantificó el impacto de la distribución de intensidades en el rendimiento de carrera de 10km. Se repartieron dos grupos; el primero de ellos daba énfasis al entrenamiento polarizado, y el segundo al entrenamiento en umbral. Ambos grupos mejoraron en un periodo de diez semanas a pesar de que el grupo de entrenamiento polarizado mejoro más en el rendimiento de carrera en 10km (5,0% vs 3,6% no significativo). Cabe remarcar que los dos

grupos completaron un entrenamiento de ocho semanas con carácter piramidal previo al estudio. Ambos grupos dedicaron el mismo tiempo absoluto en zona 3 (HIT), dedicando más tiempo en zona 1 (LIT) el grupo polarizado y en zona 2 (THR) el grupo de umbral como puede observarse en las figuras nueve A (HIT) y nueve B (THR). Atendiendo a los datos de la distribución de intensidades, puede observarse como el grupo polarizado no realizó una TID puramente polarizada como plantea el autor, ya que en vez de dedicar un 5% en zona 2 se realizó un 13,5%.

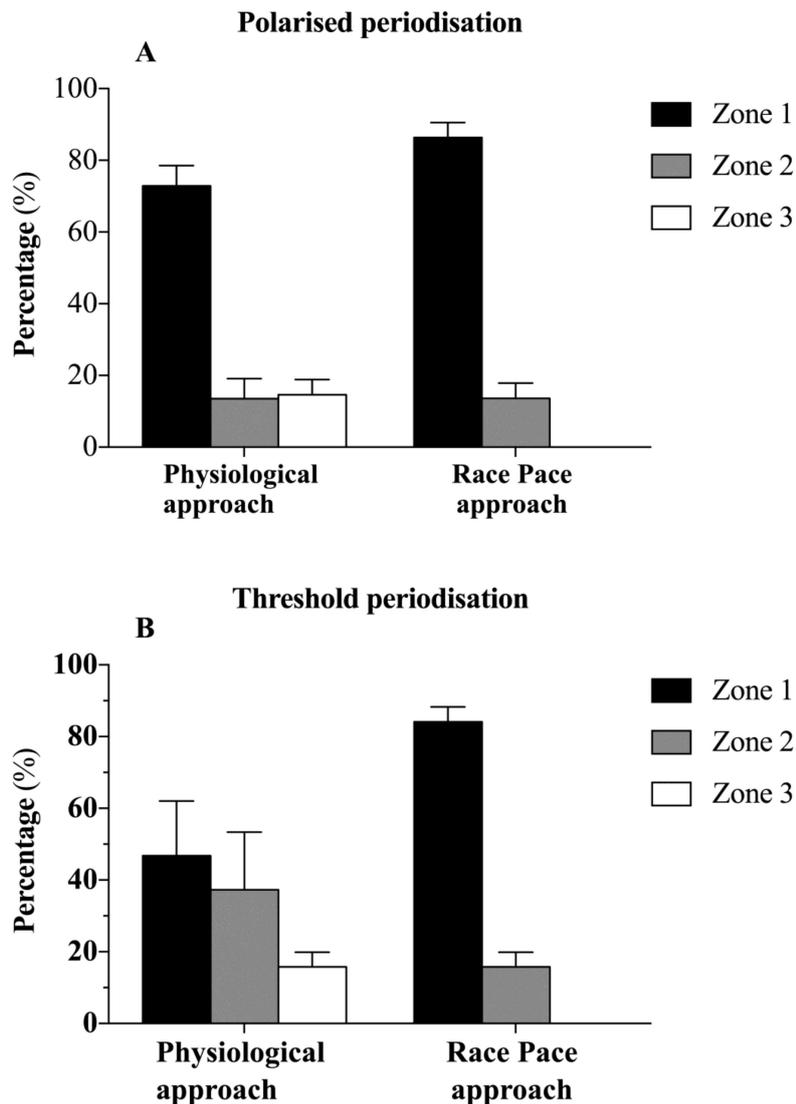


Figura 9: Comparación de distribuciones de entrenamiento entre un enfoque basado en ritmo de carrera y un enfoque basado en los parámetros fisiológicos, en una distribución polarizada (A) y una distribución de umbral (B). Información sacada de Muñoz et al. (2014)

Otro estudio remarcable sobre las TID, es el de Stöggl & Sperlich, (2015), en el que se examinan 48 atletas de los cuales 21 compiten a nivel nacional. Se compararon cuatro modelos de TID durante un periodo de nueve semanas. Estos modelos son: entrenamiento de alto volumen o *high volume training* (HVT), entrenamiento de umbral o *threshold training* (THR), entrenamiento Interválico de alta intensidad o *high intensity interval training* (HIIT) y el entrenamiento polarizado (POL). Este último fue el entrenamiento que generó mayores mejoras en las variables examinadas ( $VO_{2max}$ , Velocidad Pico y tiempo hasta la extenuación en un protocolo de rampa incremental) (Stöggl & Sperlich, 2015).

En un estudio de, Billat et al. (2001), se compara a maratonianos Portugueses y Franceses de clase mundial (maratón 2:12). El entrenamiento de los maratonianos se caracterizó como polarizado. Sin embargo, sus zonas de entrenamiento, se definían en base al ritmo de maratón, zona 1 (<ritmo de maratón), zona 2 (=ritmo de maratón) y zona 3 (>ritmo de maratón). El mismo autor también describió el entrenamiento de los corredores Keniatas especialistas en 10km y observó dos modelos de TID (Billat et al., 2003): Alto volumen-baja intensidad y bajo volumen-alta intensidad. El grupo analizado estaba compuesto por 13 atletas masculinos (seis de ellos de bajo volumen-alta intensidad) y siete atletas femeninas (seis de ellas de bajo volumen-alta intensidad). Los atletas del grupo de bajo volumen-alta intensidad, tendieron a realizar la mayor parte de su entrenamiento en las zonas 4 y 5 (4,3% y 5% respectivamente). En comparación al grupo de alto volumen, que solo realizó 1,4% del volumen en zona 4 y 5 combinadas, con un 14,4% en zona 3 (Billat et al., 2001).

Stellingwerff (2012) describió el entrenamiento de tres corredores Canadienses Internacionales en maratón durante las 16 semanas previas a la carrera. Las zonas de entrenamiento fueron definidas subjetivamente mediante RPE: zona 1 (de fácil a un poco duro); zona 2 (umbral); y zona 3 (de muy duro a máximo). Se observó una distribución polarizada del 74%, 11% y 15% del entrenamiento en las zonas 1, 2 y 3 respectivamente (Stellingwerff, 2012).

Ingham, Fudge & Pringle (2012) presentaron un estudio de caso de un corredor de 1500m internacional, quien consiguió mejorar su marca personal de 3:38:9 a 3:32:4 en 2 años de entrenamiento. En el análisis de este

entrenamiento se observó una reducción del volumen de entrenamiento realizado entre el 80-90% del  $VO_{2ma}$  del 42% al 20%, y del realizado entre el 90-100% del 20% al 10%. Al mismo tiempo, aumentó el volumen a baja intensidad (<80%  $VO_{2max}$  incrementó del 20% al 55% y el volumen del entrenamiento al 100-130% del  $VO_{2max}$  incrementó del 7% al 10%, dando así énfasis a un entrenamiento más polarizado (Ingham, Fudge, & Pringle, 2012).

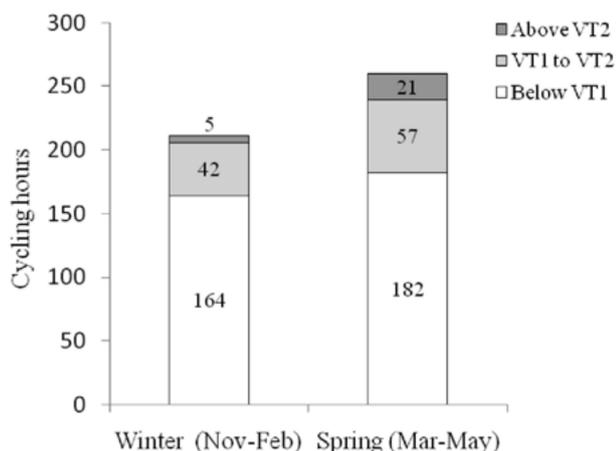
En las siguientes líneas se analizará otro deporte de resistencia: el remo. Los remeros compiten en distancias superiores a 2000m y las competiciones olímpicas tienen una duración de seis a siete minutos. Steinacker et al. (2000) desarrollaron un estudio en el cual relataron que en el volumen de entrenamiento de los remeros de élite Alemanes, Daneses, Holandeses y Noruegos, dominaba el entrenamiento extensivo a baja intensidad (LIT, <2mMol). El entrenamiento a intensidades más altas fue realizado entre un 4-10% del volumen total. En los datos también es observable como los remeros Alemanes no remararon a intensidad de umbral (THR) para preparar el campeonato de mundo, en cambio entrenaron en LIT y HIT (entre 6 y 12mM) (Steinacker et al., 2000).

Existe un estudio de referencia en este deporte de resistencia que fue realizado por Fiskerstrand & Seiler (2004) y en el cual se analizó la evolución histórica de un equipo de remo durante un periodo de 30 años. En dicho trabajo se detallaron los cambios producidos en el entrenamiento: el volumen de entrenamiento, por su parte, incrementó un 20% mientras que el volumen de LIT aumentó más relativamente. Por su parte la cantidad total de horas en HIT se redujo una tercera parte y el entrenamiento de alta intensidad a velocidades de sprint disminuyó considerablemente a favor de un entrenamiento interválico más largo a intensidades de 85-95% del  $VO_{2max}$ . Por último, se redujo el número de estancias en altura de los atletas. Durante estos 30 años, los atletas mejoraron un 12% su  $VO_{2max}$  y mejoraron un 10% su rendimiento en ergómetro. Sin embargo, cabe mencionar que la mayor parte de estas mejoras se dieron en la primera década, debido a que fue entonces cuando se hicieron los mayores ajustes en la distribución de intensidades (Fiskerstrand & Seiler, 2004).

Continuando con el remo, en un estudio de Guellich et al (2009), se describió el entrenamiento de 37 semanas de remeros Juniors de clase

mundial. 27 de los 36 atletas estudiados consiguieron medallas en el campeonato del mundo durante el periodo de entrenamiento analizado. Mediante el uso del método tiempo en zona de frecuencia cardiaca, se observó cómo el 95% de todo el entrenamiento fue realizado en LIT. Estos datos indican el dominio del entrenamiento a baja intensidad durante los nueve meses de estudio. Sin embargo, el volumen de THR y HIT aumentaba al atravesar el periodo de preparación base y adentrarse en la fase competitiva. Como resultado, la distribución tomaba un carácter más polarizado, conforme se acercaban las competiciones (Guellich, Seiler, & Emrich, 2009).

En este tercer bloque se analizara el ciclismo como deporte de resistencia. Los ciclistas de ruta profesionales son conocidos por realizar un alto volumen de entrenamiento, que oscila entre 30.000 y 35.000 km anuales. En un estudio de Zapico et al (2007), se monitorizó las características del entrenamiento de un grupo Español de élite sub 23, desde noviembre hasta junio, basándose en el modelo de tres zonas de intensidades. Además, se realizaron test fisiológicos tanto al inicio como al final de cada periodo de invierno y primavera, con el fin de comparar los cambios en el entrenamiento y los resultados de los test fisiológicos. En la figura 10 se aprecia la comparación de distribuciones del entrenamiento entre temporadas mientras que en la figura 11 se muestran los cambios fisiológicos.



*Figura 10:* Distribución de intensidades desde noviembre a junio del grupo ciclista Español élite Sub 23. Datos de (Zapico et al., 2007) redibujado por (S. Seiler, 2010).

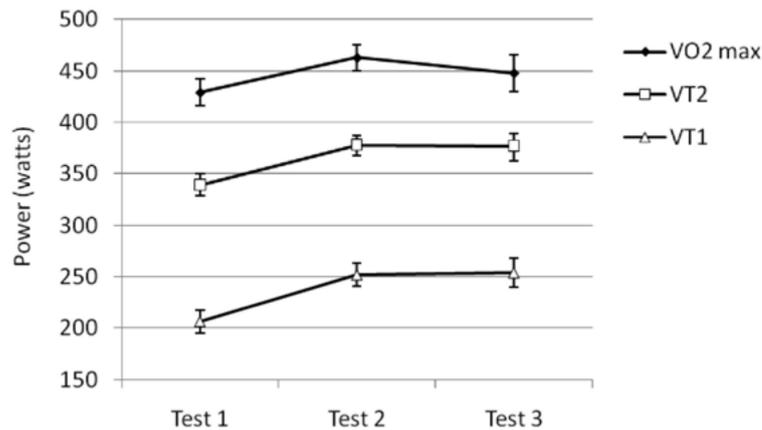


Figura 11: Respuesta a la periodización del volumen e intensidad del entrenamiento del grupo ciclista Español élite Sub 23. Datos conseguidos por los test fisiológicos realizados, antes del mesociclo de invierno (test 1), al finalizar el mesociclo de invierno (test 2) y al final del mesociclo de primavera (test 3). Datos de (Zapico et al., 2007) redibujado por (S. Seiler, 2010).

Cuando analizaron los datos de las distribuciones de ambos periodos, observaron que el volumen aumentó en los dos periodos y que en primavera hubo un aumento del entrenamiento de alta intensidad (HIT) siendo cuatro veces mayor que en invierno. Sin embargo, no se revelaron mayores mejoras en la potencia en VT1, VT2 y  $VO_{2max}$  entre los test fisiológicos realizados al final del invierno y primavera, a pesar de la clara intensificación del entrenamiento (Zapico et al., 2007).

En un estudio del 2002, se analizó a un grupo de ciclistas aspirantes a la medalla de oro en la carrera de persecución de 4.000m por equipos. Estos atletas fueron entrenados para mantener una intensidad media mayor al 100% del  $VO_{2max}$  durante la carrera, con un programa de entrenamiento en el que el predominaba el LIT (29.000-35.000km anuales). Durante los 200 días previos a los juegos olímpicos, el equipo de persecución realizó entrenamiento LIT al 50-60% del  $VO_{2max}$  en aproximadamente 140 días, mientras que le dedicaron 40 días a las carreras por etapas. Por su parte, el entrenamiento específico en pista cercano al ritmo de competición fue realizado durante alrededor de 20 días entre marzo y septiembre y se realizaron únicamente 6 días de entrenamiento de pista interválico de alta intensidad (HIIT) durante los 110 días previos a la final de los juegos olímpicos (Schumacher & Mueller, 2002).

## 5. CONCLUSIONES

Los estudios descriptivos anteriores resaltan el hallazgo paradójico de que aunque la mayoría de eventos olímpicos de resistencia se realizan a intensidades de umbral o superiores, la gran mayoría del entrenamiento realizado se completa por debajo del umbral de lactato. La duración de estos estudios varía de unas semanas a toda una temporada, pero parece que convergen en una distribución de intensidades común: sobre el 80% de las sesiones de entrenamiento son realizadas a baja intensidad (LIT) y el 20% restante en umbral (THR) o en alta intensidad (HIT). Esto parece indicar que un ratio de 80 de LIT y 20 de THR/HIT en el programa de entrenamiento produce grandes mejoras en los atletas de resistencia. Basándose en el ratio 80:20, un atleta que entrena entre 10 y 14 horas semanales, dedicaría dos o tres sesiones de THR o HIT a la semana (Seiler, 2010).

En atletas de resistencia bien entrenados, la adición de dos o tres días de entrenamiento THR o HIT semanales durante 4 a 8 semanas, mejoran el rendimiento entre un 2-4% más en comparación a la realización de un entrenamiento únicamente de LIT (Driller, Fell, Gregory, Shing, & Williams, 2009). Sin embargo, la idea de un impacto dicotómico del HIT y LIT es probablemente exagerada, ya que los dos métodos han demostrado generar adaptaciones fisiológicas superpuestas y por eso son probablemente complementarios (Seiler, 2010). Cabe destacar que los aumentos adicionales en el entrenamiento de HIT no inducen a una mayor mejora. Sin embargo, frecuentemente se asocian a una mayor probabilidad en la aparición de los síntomas del sobreentrenamiento (Billat, Petit, Muriaux, & Koralsztein, 1999; Halson & Jeukendrup, 2004; Esteve-Lanao et al., 2005). Además, una base estable de entrenamiento con alto volumen es un factor indispensable como condición previa para poder tolerar y responder bien al entrenamiento de HIT (Seiler, 2010).

En cuanto al entrenamiento de umbral, aunque el umbral de lactato se reconozca como uno de los factores claves que determinan el rendimiento de resistencia, la distribución THR se considera como un entrenamiento con mayor demanda que otras distribuciones de intensidades, potencialmente por los efectos en los sistemas autónomo y endocrino, o en el perfil de

lactato/potencia (Bassett & Howley, 2000; Farrell et al., 1979; Joyner, 1993; Joyner & Coyle, 2008; Muñoz et al., 2014). Cuando el entrenamiento de umbral es comparado en la literatura parece ser menos efectivo que la distribución piramidal y la polarizada, aunque hay una evidencia anecdótica, de que en atletas de alto nivel, el uso del entrenamiento de umbral, mejora el rendimiento en las pruebas de maratón (Enoksen et al., 2011). El entrenador de varios atletas Keniatis maratonianos de clase mundial Renato Canova, describe el entrenamiento de umbral como entrenamiento específico para el ritmo de maratón (Arcelli E, 1999). Sin embargo, la periodización demuestra un bloque inicial de entrenamiento polarizado, haciendo énfasis en la baja y alta intensidad, iniciando con una fase preparatoria específica inicial orientada al entrenamiento de umbral, en concordancia al objetivo de la fase (Arcelli E, 1999). Como el ritmo específico de maratón coincide con el umbral anaeróbico, gran parte del volumen de entrenamiento es realizado a esta intensidad según se acerca la competición objetivo.

Como se ha podido ver anteriormente, el entrenamiento piramidal y el polarizado son más efectivos que el entrenamiento de umbral, aunque este último es usado por los mejores maratonianos del mundo. Por lo tanto, sería interesante un enfoque basado en el ritmo de carrera que pueda hacer compatibles a las diferentes distribuciones de intensidad.

En relación con las ideas expuestas en las líneas anteriores, el volumen de entrenamiento realizado alrededor del ritmo de carrera parece ser marcado por la distancia de la carrera objetivo. Las carreras más cortas requerirán ritmos más rápidos y menos volumen de entrenamiento, y las carreras más largas requerirán un incremento de volumen alrededor del ritmo de carrera. Por esto mismo el entrenamiento debería estar organizado en las partes iniciales en concordancia con las características fisiológicas como la frecuencia cardiaca o el perfil de lactato, y según se acerca la carrera objetivo, debería centrarse en un ritmo específico de carrera independientemente de lo que esté ocurriendo con los parámetros fisiológicos. Finalmente, cabe mencionar que las zonas basadas en ritmos de carrera reflejan el hecho de que las carreras a pie de resistencia están directamente relacionadas con las velocidades de las mismas, permitiéndoles así poder comparar la velocidad entre competiciones. En otros deportes de resistencia esto es inviable, ya que no comparten la

capacidad para comparar las velocidades de carrera, debido a que tanto en el ciclismo como en el remo, esta velocidad varía dependiendo de factores externos como pueden ser el perfil de la carrera o la altitud y por lo tanto se hace imposible el entrenar en base a velocidades de carrera.

## 6. REFERENCIAS

- Achten, J. (2004). No differences in cycling efficiency between world-class and recreational cyclists. *Int. J. Sports Med.*, 44(0), 374–379. <https://doi.org/10.1055/S-2004-815M8>
- Arcelli E, C. R. S. (1999). Specific training for the maratón. *Monaco: International Association of Athletics Federation.*
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med.Sci.Sports Exerc.*, 32(1), 70–84.
- Billat, V. L., B, F., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztein, J. P. (1999). Interval training at VO<sub>2</sub>max - effects on aerobic performance and overtraining markers.pdf. *Med. Sci. Sports Exerc*, 31(1), 156–163.
- Billat, V. L., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., & Koralsztein, J. P. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(12), 2089–2097. <https://doi.org/10.1097/00005768-200112000-00018>
- Billat, V., Lepretre, P. M., Heugas, A. M., Laurence, M. H., Salim, D., & Koralsztein, J. P. (2003). Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 297–304. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000053556.59992.A9>
- Bosco, C., Montanari, G., Ribacchi, R., Giovenali, P., Latteri, F., Iachelli, G., ... Saibene, F. (1987). Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(2), 138–143. <https://doi.org/10.1007/BF00640636>
- Bruno, A. A. (2013). Entrenamiento polarizado para el rendimiento deportivo, 1–7.
- Clemente Suárez, V. J., & González-Ravé, J. M. (2014). Four weeks of training with different aerobic workload distributions - Effect on aerobic performance. *European Journal of Sport Science*, 14(SUPPL.1), 37–41. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.635708>

- Conley, D. L., & Krahenbuhl, G. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(5), 357–360. <https://doi.org/10.1249/00005768-198012050-00010>
- Conley, D. L., Krahenbuhl, G. S., Burkett, L. N., & Millar, A. L. (1984). Following Steve Scott: Physiological changes accompanying training. *Physician and Sportsmedicine*, 12(1), 103–106. <https://doi.org/10.1080/00913847.1984.11701746>
- Costill, D. L., Fink, W. J., & Pollock, M. L. (1976). Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Medicine and science in sports*, 8(2), 96-100.
- Costill DL, Thomason H & Roberts E (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports* 5, 248–252.
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K., & Ivy, J. L. (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology*, 61(1), 165–172. <https://doi.org/10.1152/jappl.1986.61.1.165>
- Coyle, E. F., Hagberg, J. M., Hurley, B. F., Martin, W. H., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1983). Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 55(1), 230–235. <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.55.1.230>
- Coyle, E. F., Martin 3rd, W. H., Sinacore, D. R., Joyner, M. J., Hagberg, J. M., & Holloszy, J. O. (1984). Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 57(6), 1857-1864.
- Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., & Beltz, J. D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of Type I muscle fibers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. <https://doi.org/10.1249/00005768-199207000-00008>
- Davies, K. J., Maguire, J. J., Brooks, G. A., Dallman, P. R., & Packer, L. (1982). Muscle mitochondrial bioenergetics, oxygen supply, and work capacity during dietary iron deficiency and repletion. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, 242(6), E418-E427
- Driller, M. W., Fell, J. W., Gregory, J. R., Shing, C. M., & Williams, A. D. (2009). The effects of high-intensity interval training in well-trained rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(1), 110–121. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.1.110>
- Ekblom B & Hermansen L (1968). Cardiac output in athletes. *J Appl Physiol* 25, 619–625.

- Enoksen, E., Tjelta, A. R., & Tjelta, L. I. (2011). Distribution of training Volume and intensity of elite male and female track and marathon runners. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 6(2), 273–293. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.6.2.273>
- Esteve-Lanao, J., San Juan, A. F., Earnest, C. P., Foster, C., & Lucia, A. (2005). How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 496–504. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000155393.78744.86>
- Farrell, P. a, Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E., & Costill, D. L. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11, 338–344. <https://doi.org/10.1249/00005768-197901140-00005>
- Faulkner, J. A. (1968). New perspectives in training for maximum performance. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 205(11), 741–746. <https://doi.org/10.1001/jama.1968.03140370043009>
- Fink, W. J., Costill, D. L., & Pollock, M. L. (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part li. muscle fiber composition and enzyme activities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301(1), 323–327. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1977.tb38210.x>
- Fiskerstrand, Å., & Seiler, K. S. (2004). Training and performance characteristics among Norwegian International Rowers 1970-2001. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14(5), 303–310. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2003.00370.x>
- Foster, C., Heimann, K. M., Esten, P. L., Brice, G., & Porcari, J. P. (2001). Differences in perceptions of training by coaches and athletes. *S Afri J Sports Med*, 8(June), 3–7.
- Guellich, A., Seiler, S., & Emrich, E. (2009). Training Methods and Intensity Distribution of Young World Class Rowers. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 4, 448–460.
- Halson, S. L., & Jeukendrup, A. E. (2004). Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine*, 34(14), 967–981. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434140-00003>
- Hansen, E. A., Andersen, J. L., Nielsen, J. S., & Sjøgaard, G. (2002). Muscle fibre type, efficiency, and mechanical optima affect freely chosen pedal rate during cycling. *Acta Physiologica Scandinavica*, 176(3), 185–194. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.2002.01032.x>
- Haugen, T., Olympic, N., The, P., Olympic, N., Co, P., & Universitetet, S. S. (2017). New records in human power. *Journal, International Physiology*, (August). <https://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0441>

- Holloszy, J. O., Rennie, M. J., Hickson, R. C., Conlee, R. K., & Hagberg, J. M. (1977). Physiological consequences of the biochemical adaptations To endurance exercise. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301(1), 440–450. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1977.tb38220.x>
- Ingham, S. A., Fudge, B. W., & Pringle, J. S. (2012). Training distribution, physiological profile, and performance for a male international 1500-m runner. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 193–195. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.2.193>
- Jones, A. M. (2006). The physiology of the world record holder for the women's marathon. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 1(2), 101–116. <https://doi.org/10.1260/174795406777641258>
- Joyner, J. (1993). Physiological limiting factors and distance running: influence of gender and age on record performance.
- Joyner, M. J. (1991). Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 70(2), 683–7. <https://doi.org/0161-7567/91>
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *Journal of Physiology*, 586(1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- Karp, J. R. (2007). Training characteristics of qualifiers for the U.S. Olympic Marathon Trials. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(1), 72–92. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2.1.72>
- Kenneally, M., Casado, A., & Santos-Concejero, J. (2011). The Effect of Periodisation and Training Intensity Distribution on Middle and Long Distance Running Performance: A Systematic Review. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 32, 1–44. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0012>
- Kyröläinen, H., Belli, A., & Komi, P. V. (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *American College of Sports Medicine*, (September 2001), 1330–1337. <https://doi.org/10.1097/00005768-200108000-00014>
- Leif Inge Tjelta. (2013). A longitudinal case study of the training of the 2012 European 1500m track champion. *IJASS(International Journal of Applied Sports Sciences)*, 25(1), 11–18. <https://doi.org/10.24985/ijass.2013.25.1.11>
- Manzi, V., Bovenzi, A., Castagna, C., Salimei, P. S., Volterrani, M., & Iellamo, F. (2015). Training-load distribution in endurance runners: Objective versus subjective assessment. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(8), 1023–1028. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0557>
- Martin, W. H., Coyle, E. F., Bloomfield, S. A., & Ehsani, A. A. (1986). Effects of physical deconditioning after Intense endurance training on left ventricular

- dimensions and stroke volume. *Journal of the American College of Cardiology*, 7(5), 982–989. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(86\)80215-7](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(86)80215-7)
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F., & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and  $\dot{V}O_2$  kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(8), 1351–1359. <https://doi.org/10.1097/00005768-200208000-00018>
- Muñoz, I., Seiler, S., Bautista, J., España, J., Larumbe, E., & Esteve-Lanao, J. (2014). Does polarized training improve performance in recreational runners? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 265–272. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2012-0350>
- Murray, R. (1998). Rehydration strategies - balancing substrate, fluid, and electrolyte provision. *International Journal of Sports Medicine*, 19(S 2), S133–S135. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971978>
- Olaf Schumacher, Y., & Mueller, P. (2002). The 4000-m team pursuit cycling world record: Theoretical and practical aspects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(6), 1029–1036. <https://doi.org/10.1097/00005768-200206000-00020>
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A., Herms, J. Á., Sánchez, S. J., ... Ha, K. (2015). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power muscle bed Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power, 1527–1533.
- Seiler, K. S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(1), 49–56. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276–291. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01117.x>; Olaf Schumacher, Y., Mueller, P., The 4000-m team pursuit cycling world record: Theoretical and practical aspects (2002) *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (6), pp. 1029-1036; Lindsay, F.H., Hawley, J.A., Myburgh, K.H., Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training (1996) *Med Sci Sports Exerc*, 28, pp. 1427-1434; Stepto, N.K., Hawley, J.A., Dennis, S.C., Effects of different interval-training programs on cycling tim
- Spath. (1981). The maximal steady state versus selected running.
- Steinacker, J. M., Lormes, W., Kellmann, M., Liu, Y., Reißnecker, S., Opitz-Gress, A., ... Altenburg, D. (2000). Training of junior rowers before world championships. Effects on performance, mood state and selected

hormonal and metabolic responses. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(4), 327–335.

Stellingwerff, T. (2012). Case study: Nutrition and training periodization in three elite marathon runners. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(5), 392–400. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.5.392>

Stöggl, T. L., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Frontiers in Physiology*, 6(OCT), 295. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00295>

Tjelta, L. I., & Enoksen, E. (2010). Training characteristics of male junior cross country and track runners on European top level. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 5(2), 193–203. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.5.2.193>

Tjelta, L. I., Tønnessen, E., & Enoksen, E. (2014). A case study of the training of nine times New York marathon winner Grete Waitz. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(1), 139–158. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.9.1.139>

Watson, R., & Devenney, K. (1972). Maximal oxygen uptake and related functions in male and female athletes. *Br J Sports Medicine*, 53–64.

Williams, K. R. (2007). Biomechanical factors contributing to marathon race success. *Sports Medicine*, 37(4), 420–423. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737040-00038>

Zapico, A. G., Benito, F. J., Gonzalez, C. B., Parisi, A., Pigozzi, F., & Di Salvo, V. (2007). Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclist: a longitudinal study. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(2), 191–196.