

Monograph

# Economía de la Carrera: El Factor Olvidado en el Rendimiento de Elite

Carl Foster<sup>1</sup> y Alejandro Lucia<sup>2</sup><sup>1</sup>University of Wisconsin-La Crosse, La Crosse, WI.<sup>2</sup>European University of Madrid, Madrid, España.

## RESUMEN

El rendimiento en la carrera depende del máximo consumo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ), de la capacidad de mantener un elevado porcentaje del  $VO_{2max}$  durante un período extendido de tiempo y de la economía de la carrera. La economía de la carrera ha sido estudiada relativamente menos que los otros factores. La economía de la carrera, determinada a través del consumo de oxígeno en estado estable ( $VO_2$ ) en intensidades inferiores al umbral ventilatorio, es el método estándar. La extrapolación a una velocidad de carrera común (268 m/min) o al valor de  $VO_2$  requerido para correr un kilómetro es el método estándar de valoración. Los individuos de origen Africano Oriental pueden tener sistemáticamente más económicos, aunque los factores principales podrían ser el menor tamaño corporal y la zona inferior de las piernas más delgada. Es necesario desarrollar estrategias para mejorar la economía de la carrera, aunque parecería que la carrera de alta intensidad sería un elemento sencillo para mejorar la economía.

**Palabras Clave:** eficiencia, umbrales, factores limitantes, pedestrisimo

## INTRODUCCION

El rendimiento en la carrera, especialmente en eventos de larga duración como maratones, depende de una interacción compleja de factores,[1] entre los que se incluyen (i) un gasto cardíaco alto y una elevada tasa de entrega de oxígeno a los músculos activos, lo que permite una mayor capacidad para la regeneración aeróbica de trifosfato de adenosina (i.e. un elevado consumo de oxígeno máximo [ $VO_{2max}$ ]); [2] (ii) la habilidad de sostener un elevado porcentaje de  $VO_{2max}$  durante períodos largos de tiempo (utilización fraccional del  $VO_{2max}$ );[3] y (iii) la capacidad de moverse eficientemente (economía de carrera) [4, 5]. El  $VO_{2max}$  y la utilización fraccional de  $VO_{2max}$  han sido estudiados de manera relativamente amplia como determinantes del rendimiento en la carrera [1, 2]. Salvo algunas excepciones poco comunes, (quiénes normalmente tienen una economía de carrera notable), es completamente coherente afirmar que, a menos que el  $VO_{2max}$  sea  $>70 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ , es casi imposible alcanzar los rendimientos de carrera de la clase mundial y que en cualquier grupo de corredores establecidos de clase mundial se esperan valores promedio de  $75\text{-}80 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ . De manera similar, el porcentaje de  $VO_{2max}$  que puede ser sostenido durante el tiempo ligeramente superior a las 2 horas, requerido por los corredores de maratón de elite, casi siempre se encuentra en el intervalo de 80-90%, y durante los aproximadamente 28 minutos que se necesitan para recorrer los 10 km, es 90-95%. Sin embargo, a pesar de que conocíamos la importancia de la economía de la carrera, como mínimo desde los años setenta, este factor ha sido relativamente ignorado en la literatura científica. Un reciente trabajo de revisión abordó muchos de los problemas presentados en este artículo con más detalle [6], pero incluso estos autores destacaron que el nivel de conocimientos sobre la economía de la carrera es bajo, comparado con nuestros conocimientos sobre otros elementos del rendimiento en las carreras. El interés en la economía de la carrera como un problema de importancia real se ha incrementado paralelamente con la aparición de corredores originarios del este de

Africa, como corredores dominantes durante los últimos 20 años [5, 7]. Esto ha acompañado el descubrimiento de que las diferencias en el rendimiento entre atletas de élite, están altamente relacionadas con las diferencias en la economía (o eficiencia). [8] Efectivamente, en un grupo de individuos en el cual todos tienen un elevado  $VO_{2max}$  y donde todos pueden sostener un porcentaje elevado del  $VO_{2max}$  durante mucho tiempo, el ganador normalmente será el atleta más económico o más eficiente. Esto nos conduce a las siguientes preguntas fundamentales, que serán abordadas en éste trabajo:

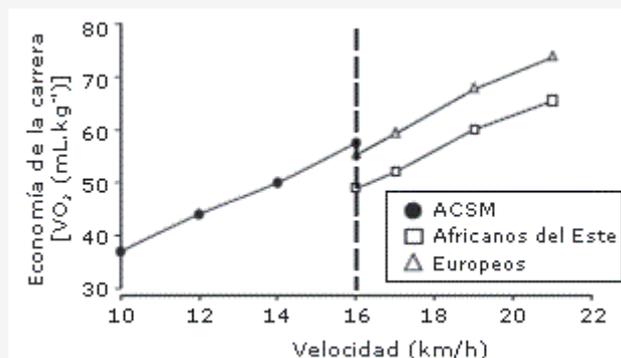
1. ¿Cual es el intervalo dentro de la escala de economía de carrera donde se encuentran los mejores corredores?
2. ¿Las diferencias en la economía de carrera se deben a diferencias anatómicas?
3. ¿Es posible mejorar la economía de carrera?

## DIFERENCIAS EN LA ECONOMIA DE LA CARRERA

Para medir la economía de la carrera se ha utilizado durante los últimos 30 años o más, un enfoque estándar. Estos métodos involucran correr a velocidades progresivamente crecientes en etapas de 4-10 minutos de duración (e.g duración suficiente para alcanzar un estado estable fisiológico). La intensidad de la carrera está por debajo del umbral ventilatorio, ya que por encima de esta intensidad, el componente lento del consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) establece que es improbable alcanzar las condiciones de estado estable. Dependiendo del laboratorio, las carreras en cinta rodante utilizadas como referencia, o son realizadas en cinta rodante sin pendiente o con una pendiente de aprox. 1% (para efectuar la corrección de la resistencia del viento que se encontraría durante la carrera de pie). En el mundo ideal, que sería posible dada la disponibilidad de sistemas de telemetría de frecuencia cardíaca portátiles y de sistemas metabólicos portátiles, estas carreras se realizarían al aire libre para considerar realmente la resistencia del viento, las características de la superficie de carrera y las ondulaciones menores presentes, incluso en los terrenos nivelados. La expresión de la economía de carrera se puede realizar de varias maneras. Las dos maneras más comunes son interpolar (o extrapolar) el  $VO_2$  a una velocidad de carrera. La velocidad de referencia normalmente utilizada es 268 m/min (4,47 m/s) que representa 6 minutos por milla o 3 minutos 44 segundos por km. Los valores representativos de  $VO_{2max}$  para los diferentes tipos de corredores (asumiendo que la cinta rodante tiene una pendiente de 1%) se presentan en la Tabla 1 y en la Figura 1

Población	Consumo de Oxígeno (mL.kg <sup>-1</sup> )	Consumo de Oxígeno (mL.kg <sup>-0.75</sup> )
Valor de referencia (ACSM) [80 kg]	58	175
Europeos/ Norteamericanos de Élite (65.kg)	55	156
Africanos del Este de Élite (60kg)	50	130

**Tabla 1.** Valores de referencia para el costo aeróbico de la carrera en diferentes ACSM=Colegio Americano de Medicina del Deporte.

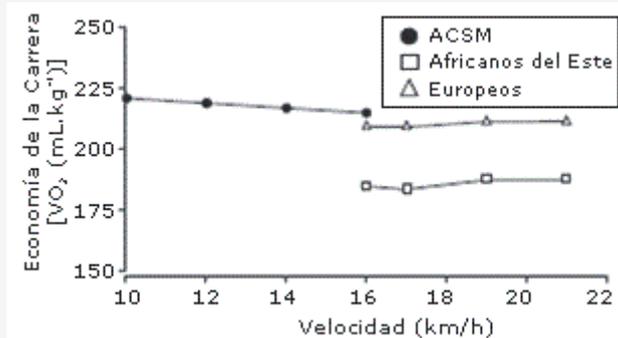


**Figura 1.** Valores del costo del consumo de oxígeno en carreras en cinta rodante (con una pendiente de 1%) desde el punto de vista de datos normativos (del Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM), y basados en valores combinados de corredores de elite descendientes de europeos (1, 3, 6, 7, 9) y corredores de elite de África del este (6, 7). La línea vertical con líneas entrecortadas representa la velocidad de carrera de 268 m/min, que es el valor de referencia más comúnmente utilizado.  $VO_2$ =consumo de oxígeno.

El menor valor informado de  $VO_2$  a 268 m/min fue 39,0 mL/min/kg en un corredor de Africa del este, capaz de correr 1500m en 3:35 con un  $VO_{2max}$  de sólo 63 mL.min<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>. Las diferencias en  $VO_2$  pueden acentuarse si las necesidades aeróbicas de la carrera se expresan como  $VO_2.kg-0.75$  que es un enfoque conceptualmente atractivo que ha sido utilizado principalmente en Escandinavia [7]. Un método alternativo para expresar la economía de la carrera es, en función del  $VO_2$  necesario para correr 1 km. En la Tabla 2 y en la Figura 2 se presentan los valores representativos considerados para establecer las diferencias en la velocidad entre los diferentes grupos (y asumiendo que cinta rodante tiene una pendiente de 1%) [2-7].

Población	Consumo de Oxígeno (mL.min <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup> )
Valor de referencia (ACSM)	218
Europeos/Norteamericanos de Elite	210
Africanos del Este de Elite	187

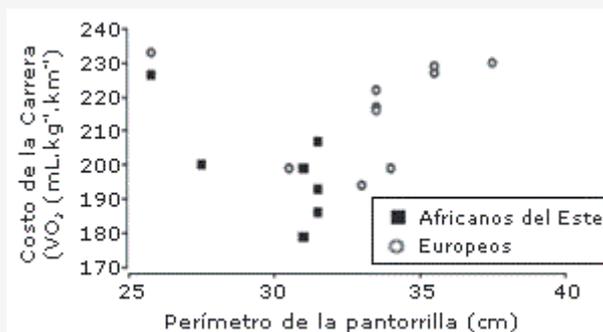
**Tabla 2.** Valores de Referencia para la economía de carrera en diferentes poblaciones. ACSM= Colegio Americano de Medicina del Deporte.



**Figura 2.** Diagrama de los valores del costo de oxígeno de carrera en cinta rodante (con una pendiente de 1%) en términos de consumo de oxígeno requerido para correr 1 km, expresados en términos de datos normativos (del Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM)) y valores combinados de corredores de elite de origen europeo (1, 3, 6, 7, 9) y corredores de elite provenientes del este de África (6, 7)..

## BASE ANATOMICA DE LAS DIFERENCIAS EN LA ECONOMIA DE LA CARRERA

Una de las cosas más obvias sobre los corredores de fondo es que, generalmente son personas comparativamente pequeñas, y los corredores de África Oriental que actualmente dominan los niveles competitivos más altos, son pequeños, incluso para los estándares de corredores de fondo [5, 7]. Si bien hay algunos individuos relativamente más grandes, que se han vuelto corredores de maratón de élite (por ejemplo Derek Clayton y Jack Batchelor), estos individuos son excepciones notables a la regla general. Sobre la base de biomecánica simple, verificada con datos experimentales [9], es esperable que la tendencia que tienen los corredores de África del Este, no sólo a ser generalmente pequeños, sino que también a tener la zona inferior de las piernas muy delgada, contribuya con su excelente economía de carrera. Datos recientes demuestran una correlación significativa e inversa entre el perímetro máximo de la pantorrilla y el  $VO_2$  a una velocidad de carrera fija (21 km/h) en un grupo de corredores españoles y eritreos de alto nivel [5]. Dado que esta tendencia era obvia, incluso dentro del grupo de corredores españoles, podría argumentarse que la economía de carrera generalmente se relaciona con las dimensiones del cuerpo y que no tiene un elemento singularmente "africano" (Figura 3). Si estos datos se confirman, sugerirían que la principal razón por la que los corredores originarios de África del Este son económicos, se debe a su pequeño tamaño. Es importante destacar que se ha demostrado que corredores de origen europeo que eran particularmente pequeños (por ejemplo el campeón olímpico de maratón de 1972, Frank Shorter) tenían una economía de carrera, [2] particularmente buena, comparable con la de los Africanos del Este [5]. Por lo tanto una economía de carrera extraordinaria sería principalmente una característica de las personas pequeñas en general y específicamente de personas pequeñas con pantorrillas más delgadas. Esto en función del sentido común, ya que sabemos que agregar peso particularmente al final de una palanca larga, (como en las zapatillas de carrera), es importante para el costo energético de la marcha.



**Figura 3.** Efecto del perímetro de la pantorrilla en el costo del consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) de la carrera ( $mL.kg^{-1}.km^{-1}$ ) en corredores de elite Europeos y de África del Este. Es importante destacar que aunque los corredores de África del Este poseen menores perímetros de pantorrilla y tienen un costo de carrera inferior en general, la relación se solapa y esto evidente en los datos correspondientes a los corredores Europeos, lo que sugiere que son las dimensiones del cuerpo y no el lugar de origen, quienes determinan el costo de la carrera.

## ¿ES POSIBLE MEJORAR LA ECONOMIA DE CARRERA?

Es sorprendente que dada la importancia de la economía de la carrera en el rendimiento de la misma, haya pocos estudios sobre las estrategias que podrían mejorarla. Saunders et al. [6] realizaron una revisión de las intervenciones que podrían

mejorar la economía de la carrera entre las que se incluían el entrenamiento de fuerza y/o el entrenamiento pliométrico, la exposición a la altitud y el entrenamiento en condiciones de calor. Se puede decir que el entrenamiento pliométrico, trabaja aumentando las características de estiramiento/acortamiento del músculo o aumentando la rigidez o *stiffness* del sistema músculo-tendinoso. Los estudios de exposición a la altitud, han obtenido resultados mixtos. Hay alguna evidencia que sustenta que la sola exposición a la altitud, sin ningún entrenamiento particular, puede mejorar la economía de la carrera, aunque no está claro como podría producirse dicho efecto. Todas son estrategias prometedoras, aunque no se conoce con certeza cual es la vinculación mecánica que tienen en común. Billat et al. [10] observaron una mejor economía de carrera luego de agregar entrenamiento de intensidad relativamente alta, a la carrera base. Se observó una mejora significativa en la economía de carrera cuando este tipo de entrenamiento se realizaba dos veces por semana, pero esta mejora parecía desaparecer cuando el entrenamiento de alta intensidad se realizaba con una frecuencia mayor. En un estudio de casos, Conley et al. [4] observaron una mejora en la economía de la carrera luego de la adición de entrenamiento intervalado de alta intensidad a los km de carrera que se corrían como entrenamiento inicial. No hay ninguna razón que explique con claridad por qué tales entrenamientos mejoran la economía de carrera, aunque podría argumentarse, a partir de los primeros principios, que en un atleta que ya está bien entrenado con pocas probabilidades de una adaptación adicional del  $VO_{2max}$ , la única manera de simplificar una tarea difícil (por ejemplo correr 1000 m al  $VO_{2max}$ ) es mejorar la economía de la carrera. Un argumento similar podría plantearse para los beneficios del entrenamiento en altitud. Con una capacidad limitada para mantener el costo de correr aeróbicamente, la única manera de facilitar el entrenamiento (asumiendo que se mantiene un ritmo en particular) es volverse más eficiente. En éste sentido, es interesante que observaciones previas en corredores de África del Este, resaltarán que sus entrenamientos fueron realizados a intensidades relativamente altas [7]. Dado que sabemos que los seres humanos pueden encontrar la manera más fácil para realizar cualquier tarea, mejorar la economía de la carrera no es una respuesta irrazonable al entrenamiento de alta intensidad en altura. Esto, por supuesto, debe ser verificado experimentalmente.

## CONCLUSIONES

---

La economía de la carrera es evidentemente importante para el rendimiento en las carreras. Hasta en los corredores altamente entrenados, hay un intervalo considerable de economía de carrera. Los corredores originarios de África del Este, presentarían una tendencia a ser más económicos; sin embargo, esto podría deberse tanto a su menor tamaño y al menor tamaño de sus miembros inferiores más que al origen "Africano" *per se*. Hay algunas evidencias que prueban que la economía de la carrera mejora incorporando entrenamiento intervalado de alta intensidad, al kilometraje de carrera de base. Otros factores como el entrenamiento pliométrico, la altitud y la exposición al calor, también pueden contribuir con una mejor economía de carrera, aunque aun no ha sido establecido cómo se produce esto. Dado que los atletas de alto nivel, gracias al entrenamiento o por selección, ya poseen valores elevados de  $VO_{2max}$  de la capacidad de sostener valores elevados del mismo, podría ser que los futuros aumentos en el rendimiento dependan de las mejoras en la economía.

### Agradecimientos

Los autores afirman que no poseen ninguna afiliación o interés financiero con ninguna organización (es) que pudieran tener interés directo en los temas abordados en éste artículo.

## REFERENCIAS

---

1. Joyner MJ (1991). Modeling optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *J Appl Physiol* 71: 683-7
2. Pollock ML (1976). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners: cardiorespiratory aspects. *Ann N Y Acad Sci* 301: 310-22
3. Costill DL, Thomason H, Roberts E (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports* 5: 248-52
4. Conley DL, Krahenbuhl GS, Burkett LN (1981). Training for aerobic capacity and running economy. *Phys Sportsmed* 9: 107-15
5. Lucia A, Esteve-Lanao J, Oliván J, et al (2006). Physiological characteristics of the best Eritrean runners: exceptional running economy. *Appl Physiol Nutr Metab* 31: 530-40
6. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, et al (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med* 34: 465-85
7. Saltin B, Larsen H, Terrados N, et al (1995). Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared to Scandinavian runners. *Scand J Med Sci Sports* 5: 209-21
8. Lucia A, Hoyos J, Perez M, et al (2002). Inverse relationship between  $VO_{2max}$  and economy/efficiency in world-class cyclists. *Med*

*Sci Sports Exerc 34: 2079-84*

9. Royer TD, Martin PE (2005). Manipulations of leg mass and moment of inertia: effects on energy cost of walking. *Med Sci Sports Exerc 37: 649-56*
10. Billat VL, Flechet B, Petit B, et al (1999). Interval training at VO2max: effects on aerobic performance and overtraining markers.. *Med Sci Sports Exerc 31: 156-63*

**Cita Original**

Foster Carl y Alejandro Lucia.. Running Economy: The Forgotten Factor in Elite Performance. *Sports. Med.* 37 (4-5): 316-319. 2007