

Belén Feriche Fernández-Castany,  
 Departamento de Educación Física.  
 Facultad de Ciencias de la Actividad Física  
 y el Deporte. Universidad de Granada.  
 Ángel Gutiérrez Sainz,  
 Centro de Alto Rendimiento Deportivo  
 de Sierra Nevada.  
 Consejo Superior de Deportes.

## LA CURVA DE FATIGA DE CARLSON: ¿PARÁMETRO VÁLIDO PARA LA EVALUACIÓN Y CONTROL DE LA CAPACIDAD ANAERÓBICA?

**Palabras clave:** capacidad anaeróbica, test de campo, costo cardíaco.

### Abstract

*The planning of sports training is based on the objective determination of physiological parameters through tests that are valid dependable and easily reproduced.*

*These parameters have been evaluated in laboratories fitting themselves perfectly to the needs of a correct dose of variables (Wingate et al. 1981, Margaria et al. 1966, Ayalon et al. 1974) yet, on the other hand, the evaluation contributions made in the field are very limited. Carlson's fatigue curve is described as a simple, direct way of evaluating the anaerobic capacity (CA) of a sportsman although it is not clear if it measures the lactic or alactic C.A. With the idea of finding the energetic metabolism implied in this test, 31 sports people, 18 men and 13 women of  $21,6 \pm 3,2$  years old were subjected to 10 series of 10 seconds of skipping (counting the cycles or the number of times a leg touched the floor after a complete rope circle), alternating with another 10 series of 10 seconds test. The subjects were monitored throughout the work period and the rest period, obtaining the heart expenditure from the sum of the final heart rate plus that of the 2nd, 4th and 6th minute of the rest period, during which, also, blood samples were taken from an ear lobe previously congested, in the 1st, 3rd, 5th, 7th and 10th minutes of the rest period, and immediately analyzed in an Analox p-LM5, showing an average of the greatest concentration of lactate of  $10,9 \pm 5,3$  mMol/l.*

*The statistical analysis of regression shows a low correlation between the average heart expenditure ( $501 \pm 42$  ppm) and the average total cycles ( $180,1 \pm 21$ ) with a value of  $R=0,07$  going down to 0,01 and  $1,2 \cdot 10^{-6}$  respectively, according to sex (men and women)*

*We consider, looking at the results, that Carlson's fatigue test curve cannot be presented as a valid method of evaluation and control of the sports training as it shows no relation at all between the concentrations of lactate heart expenditure and performance of the subjects tested under the conditions established in the test.*



## Resumen

La planificación del entrenamiento deportivo se basa en la determinación objetiva de parámetros fisiológicos a través de test válidos, fiables y fácilmente reproducibles.

Estos parámetros han sido evaluados en laboratorio ajustándose perfectamente a las exigencias de una correcta toma de variables, (Wingate y col. 1981; Margaria y col. 1966; Ayalon y col. 1974, etc.) pero sin embargo son escasas las aportaciones de evaluación hechas sobre el terreno. La Curva de Fatiga de Carlson está descrita como una forma sencilla y directa de evaluar la capacidad anaeróbica (CA) del deportista aunque no específica si mide la CA aláctica o la láctica. Con objeto de averiguar el metabolismo energético principalmente implicado en este test, 31 sujetos deportistas, 18 hombres y 13 mujeres de  $21,6 \pm 3,2$  años, fueron sometidos a 10 series de 10" de skipping<sup>1</sup> (contabilizando los ciclos o el número de veces que una pierna toca el suelo tras un recorrido completo) alternadas con otras 10 series de 10" de descanso. Los sujetos fueron monitorizados durante el periodo de trabajo y recuperación obteniéndose el Costo Cardíaco<sup>2</sup> a partir de la suma de la frecuencia cardiaca final más la de los minutos 2, 4 y 6 de la recuperación, durante la cual, además fueron tomadas muestras de sangre del lóbulo de una oreja previamente hiperhemizada, en los minutos 1, 3, 5, 7 y 10 de la recuperación e inmediatamente analizadas en un ANALOX p-LM5, obteniéndose una media de la concentración máxima de lactato de  $10,9 \pm 5,3$  mMol/l. El análisis estadístico de Regresión muestra una baja correlación entre el Costo Cardíaco

medio ( $501 \pm 42$  ppm) y los Ciclos totales medios ( $180,1 \pm 21$ ) con un valor de la  $R = 0,07$  que desciende a  $0,01$  y  $1,2 \cdot 10^{-6}$  respectivamente si se tratan por sexos (varones o mujeres).

Consideramos, a la vista de los resultados, que el test de La Curva de Fatiga de Carlson no se presenta como un método válido de evaluación y control del entrenamiento deportivo al no obtener relación alguna entre las concentraciones de lactato, Costo Cardíaco y rendimiento de los sujetos evaluados bajo las condiciones establecidas en el test.

## Introducción

Las pruebas de valoración de la función aeróbica están ampliamente difundidas en la literatura científica, mientras que las anaeróbicas son objeto de mayor discusión en los tratados de fisiología del ejercicio dada su difícil objetivación y distinción entre metabolismo Anaeróbico Aláctico (ANA ALA) y Anaeróbico Láctico (ANA LA) (Martín, J. F. 1987). Actividades muy cortas de potencia (velocistas, saltadores, etc.) de duración menor a 6" dependen casi exclusivamente de la liberación inmediata de energía de los fosfágenos intramusculares almacenados. Al prolongar el ejercicio máximo hasta los 60" se reduce la potencia e implica un sistema de producción de energía a corto plazo: la glucólisis ANA con la formación consiguiente de ácido láctico (sujeto a factores individuales de entrenamiento, nutrición y tipo de fibra (McArdle, N. y col. 1991).

Si disminuye la intensidad y prolongamos el ejercicio hasta los 2 o 4 minutos, la dependencia de las vías energéticas ANA será menor, haciéndose la produc-

ción de ATP cada vez más importante por las vías AE (Chiang, M. T. y col. 1991).

El metabolismo ANA tiene escaso valor práctico para el desempeño de actividades de la vida cotidiana aunque sin embargo es fundamental en el de actividades deportivas colectivas e individuales. Su difícil valoración de una forma directa ha llevado a desarrollar pruebas que la estiman en laboratorio y sobre el terreno basándose en la activación de dicho metabolismo con movimientos de alta intensidad (Donso, H. 1978) y clasificadas en ANA ALA y ANA LA en base a la principal función metabólica implicada (Chiang, M. T. y col. 1991).

Margaria, 1966; Ayalon, 1974; Dalmonte y Leonardi, 1975, entre otros, diseñaron tests para evaluar la capacidad ANA ALA en laboratorio. Asimismo son innumerables los tests de campo que se aplican a gestos específicos de nado, carrera, etc. con tiempos siempre inferiores a los 10" para ajustarse a este propósito.

El test de Wingate (1981) es una de las pruebas de laboratorio más utilizadas para evaluar la función ANA LA en el tren inferior (también aplicable al superior) utilizando una bicicleta ergométrica de freno mecánico con una resistencia inicial de 0,5 kg que se incrementa en los primeros 4" a 75 g por kg de peso, comenzando a partir de este momento la prueba. Se contabilizan las revoluciones cada 5" hasta completar los 30" del test, indicándonos en relación a su número la potencia desarrollada cada 5" en kg/s. Además, existen otros tests para evaluar esta función sobre el terreno en distintos grupos musculares (por ejemplo el nº de flexiones abdominales en 30") o en actividades específicas deportivas (como

(1) Skipping: Carrera sobre el sitio, sin desplazamiento.

(2) Costo Cardíaco: Parámetro utilizado por Carlson para expresar el estado de la capacidad anaerobia de los sujetos a partir de la suma de la frecuencia cardiaca final, tras la realización específica de su test (protocolo de trabajo empleado en este estudio), con la de los minutos 2, 4 y 6 de la recuperación pasiva.

	EDAD (años)	PESO (Kg)	TALLA (cm)
VARONES (n=18)	23,9 ± 3,2	76,4 ± 6,8	179,36 ± 5,7
MUJERES (n=13)	19,3 ± 1,5	61,7 ± 9	169,4 ± 6,3
TOTAL (n=31)	21,6 ± 3,2	69,0 ± 10,3	174,38 ± 7,0

Tabla I. Perfil de los sujetos experimentales expresado en  $x \pm sd$

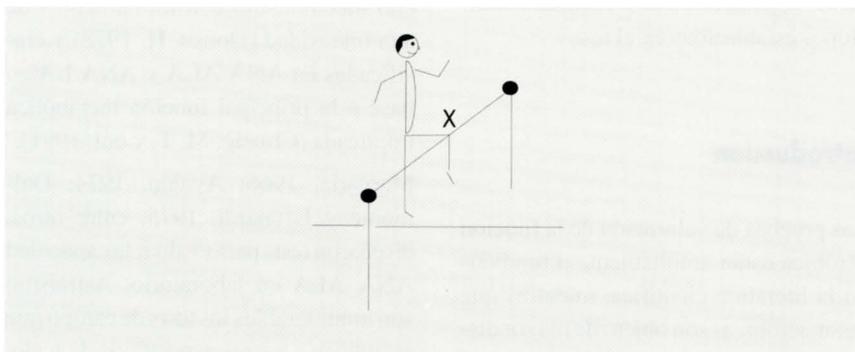


Figura 1. Diseño del trabajo a realizar durante las series

	CICLOS TOTALES	LACTATO mMol/l	COSTO CARDÍACO
VARONES (n=18)	189,95 ± 0,3	11,8 ± 6,9	517 ± 14
MUJERES (n=13)	169 ± 6,5	7,75 ± 3,3	473 ± 6
TOTAL (n=31)	180,1 ± 21	9,7 ± 2,8	501 ± 42

Tabla II. Valores de los ciclos totales, concentraciones de lactato alcanzadas y costo cardíaco de recuperación, expresado en  $x \pm sd$

	CICLOS TOTALES	COSTO CARDÍACO	R
VARONES (n=18)	189,95 ± 0,3	517 ± 14	0,01
MUJERES (n=13)	169 ± 6,5	473 ± 6	$1,2 \cdot 10^{-6}$
TOTAL (n=31)	180,1 ± 21	501 ± 42	0,07

Tabla III. Relación número total de ciclos con el costo cardíaco, expresado en  $x \pm sd$

pueden ser 800 m supramáximos en ciclismo) (Martín, F., 1988). En esta línea, Carlson en 1945 propuso un test para valorar el estado físico del deportista y su evolución a lo largo del entrenamiento (Fox, E. L. 1985). Dada la importancia de una buena evaluación de la condición física del deportista para una calibración ajustada del entrenamiento deportivo y siendo conscientes de la escasez de tests fiables que se realicen sobre el terreno de una forma sencilla, nos planteamos si la Curva de Fatiga de Carlson podría ser un medio de obtener información acerca del metabolismo ANA LAC, en la que el Costo Cardíaco sea un parámetro válido para la evaluación y control del entrenamiento.

## Material y métodos

El grupo estudiado estaba constituido por un total de 31 sujetos, 18 varones y 13 mujeres (cuyos datos antropométricos aparecen reflejados en la Tabla I) practicantes de distintas disciplinas deportivas y sometidos habitualmente a entrenamientos deportivos sistemáticos. La ejecución del test de la Curva de Fatiga de Carlson, consistió en alternar 10 periodos de 10" de carrera sobre el sitio con 10 series de 10" de descanso. Se partió de una posición bípeda a medio metro aproximadamente del listón que establece la altura de elevación de las rodillas durante el trabajo y cuya altura se ajustó de forma que coincidiera con la articulación coxo-femoral de cada sujeto (Figura 1).

En cada una de las series de trabajo eran contabilizadas el número de zancadas completas o ciclos que realizaba el sujeto (cada vez que el pie contrario al que iniciaba la carrera tocaba el suelo). El sujeto estuvo monitorizado durante todo el proceso con un Sport Tester PM-4000, que registró la frecuencia cardíaca



cada 15". Con la suma de la frecuencia cardíaca final, y las de los minutos 2, 4 y 6 de recuperación se obtuvo el parámetro "Costo Cardíaco".

En los minutos posteriores al test fueron tomadas muestras de lactato del lóbulo de una oreja previamente hiperhemizada (minutos 1, 3, 5, 7 y 10 de recuperación), que fueron inmediatamente analizadas en un analizador de lactato de membrana enzimática, ANALOX p-LM5.

Las condiciones ambientales de realización del test fueron idénticas para todos los sujetos, usándose para tal fin el laboratorio I de la F. C. A. F. D. de la Universidad de Granada.

El tratamiento estadístico se efectuó con ayuda del paquete informático Statview buscándose una significación entre los parámetros obtenidos a través de un análisis de Regresión para variables aleatorias cuantitativas.

## Resultados

La Tabla II muestra la valoración funcional expresada a través de diferentes parámetros. Las concentraciones de lactato son lo suficientemente elevadas como para poder catalogar el test de la Curva de Fatiga de Carlson como ANA LA con  $10.9 \pm 5.3$  mMol/l de lactato medio alcanzado por  $180.1 \pm 21$  ciclos totales medios y a lo que le corresponde un Costo Cardíaco medio de  $501 \pm 42$  ppm.

En la Figura 2 se puede ver como los resultados obtenidos por los varones son significativamente más elevados que los de las mujeres, con una diferencia media de  $29.9$  ciclos,  $4.05$  mMol/l de lactato y  $44$  ppm más que ellas.

En la Tabla III se muestran las relaciones de significación entre estos parámetros funcionales y el rendimiento de los deportistas en la realización del test. El

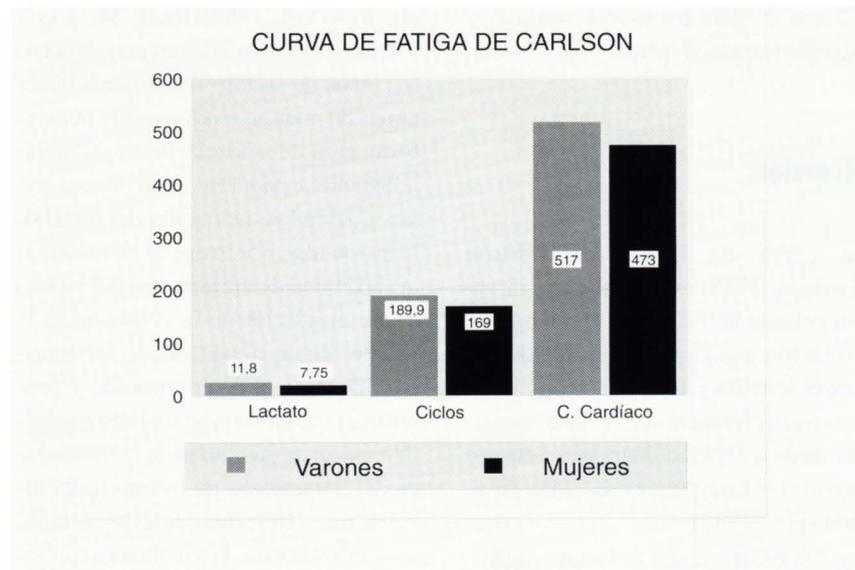


Figura 2. Comparación de los resultados entre sexos

	COSTO CARDÍACO	LACTATO mMol/l	R
VARONES (n=18)	$517 \pm 14$	$11,8 \pm 6,9$	0,3
MUJERES (n=13)	$473 \pm 6$	$7,75 \pm 3,3$	0,08
TOTAL (n=31)	$501 \pm 42$	$10,9 \pm 5,3$	0,4

Tabla IV. Relación del costo cardíaco con las concentraciones de lactato alcanzadas, expresado en  $x \pm sd$

	CICLOS TOTALES	COSTO CARDÍACO	R
VARONES (n=18)	$189,9 \pm 0,3$	$11,8 \pm 6,9$	0,2
MUJERES (n=13)	$169 \pm 6,5$	$7,75 \pm 3,3$	0,05
TOTAL (n=31)	$180,1 \pm 21$	$10,9 \pm 5,3$	0,3

Tabla V. Relación número total de ciclos con las concentraciones de lactato alcanzadas expresado en  $x \pm sd$

Costo Cardíaco mantiene una escasa relación con los ciclos totales de los sujetos, guardando un nivel de significación R de 0.07 para los resultados totales que desciende a 0.01 y a  $1.2 \cdot 10^{-6}$  al tomar por separado los resultados de varones y mujeres.

En la Tabla IV se muestra una significación ligeramente más elevada si se relaciona el Costo Cardíaco con las concen-

traciones máximas de lactato obtenidas elevándose la R a 0.4 y descendiendo también en el tratamiento por separado de los datos varones vs mujeres a 0.3 y 0.08 respectivamente.

La Tabla V muestra que esa significación tampoco existe si en lugar de tomar el Costo Cardíaco tomamos las concentraciones máximas de lactato obtenidas, alcanzándose unos valores de R de 0.3,

0'2 y 0'05 para los totales, varones y mujeres respectivamente.

## Discusión

La curva de Fatiga de Carlson (Carlson, 1945) es propuesta para valorar el estado físico del deportista y su evolución a lo largo del tiempo de una forma sencilla y tomando como parámetro de referencia las frecuencias cardíacas de recuperación tras un esfuerzo máximo y discontinuo de corta duración (Fox, 1985).

Las concentraciones de lactato obtenidas ( $10'9 \pm 5.3$  mMol/l), nos muestran que la Curva de Fatiga de Carlson es un test eminentemente láctico. Muchos autores consideran la determinación del ácido láctico como un método muy práctico para cuantificar la respuesta metabólica al esfuerzo (García del Moral, L. y col. 1988; Brooks, G. A. 1988; Rieu, M. y col. 1988). A partir de esfuerzos muy intensos de 10" de duración, la vía energética ANA LA se pone en funcionamiento (McArdle, W. y col. 1990), aunque hay estudios recientes que adelantan el momento del inicio de la acumulación de lactato al haber encontrado niveles de lactato significativamente elevados en biopsias musculares tras esfuerzos supramáximos inferiores a los 10" de duración, valores que se justificarían con una activación de los sistemas ANA LA inmediatamente después del comienzo del ejercicio (Mercier, J. y col. 1991).

Es bien conocido que aunque el lactato sea un poderoso ácido orgánico y su acumulación provoque fatiga temprana, es un claro indicador de la intensidad del esfuerzo realizado; además, su oxidación en el músculo podría suponer una de las más importantes vías de obtención de energía (Brooks, G. y col. 1988; Fox, E. L. 1985; García del Mo-

ral, L. y col. 1988; Rieu, M. y col. 1988). Si esto es así, a mayores concentraciones de lactato deberíamos haber obtenido mayor rendimiento, pues la formación de ácido láctico y su metabolización está en relación directa con la velocidad de actuación del metabolismo celular, por lo que al incrementar la capacidad de eliminación del lactato desde el interior de la célula hacia la sangre, desde donde puede ser transportado para su resintetización y posterior utilización como sustrato energético, se incrementarían las concentraciones sanguíneas de lactato hasta niveles muy elevados. Nuestro estudio no confirma esto. No hemos encontrado relación alguna entre los sujetos que más lactato producen y los que más rinden en la prueba ( $R = 0'3$ ). Debe de haber, por lo tanto, un factor que determine que ese exceso de energía no se materialice en más ciclos y pensamos pueda ser una mala ejecución del trabajo establecido (skipping).

En la Curva de Fatiga de Carlson, un Costo cardíaco que disminuye a lo largo del tiempo indicaría una mejora del estado físico del deportista, disminuyendo el tiempo que necesita para estabilizar su frecuencia cardíaca conforme mejora su capacidad física a lo largo del tiempo y en una relación constante entre el Costo Cardíaco y el rendimiento. Esta relación pondría de manifiesto que los mejores rendimientos se corresponden con los Costos Cardíacos más bajos. Sin embargo podemos encontrarnos el caso de un sujeto que hace un gran esfuerzo sumando un importante número de ciclos y acumulando una elevada deuda de  $O_2$ , que provoca que su frecuencia cardíaca de recuperación se mantenga elevada durante más tiempo aumentando el Costo Cardíaco y falseando los resultados del test frente a otro sujeto que quizás realice menos ciclos, recupere antes y obtenga un Costo Cardíaco más bajo. Por esta razón nunca sería útil comparar

estos resultados de forma absoluta ni siquiera entre los mismos sujetos aunque si podrían compararse las curvas de recuperación de la frecuencia cardíaca para un mismo sujeto y en distintos momentos considerando en todo momento como punto de referencia la frecuencia cardíaca final de trabajo.

Al hablar de deuda de  $O_2$ , hay que nombrar forzosamente el tema de la resíntesis del glucógeno a partir del lactato, en cuya elaboración se consume una parte adicional de oxígeno. Por ejemplo, una producción de 60'5 g de lactato o 10'9 mMol/l, necesitan de 7'26 l de  $O_2$ , para su metabolización (Fox, 1985), por lo que podríamos encontrar un Costo Cardíaco más elevado en los sujetos que han acumulado una mayor lactacidemia. Sin embargo tampoco hemos obtenido una relación suficientemente significativa entre ambos parámetros que mantienen un valor de la  $R = 0'4$ . En otras investigaciones (Rieu, M y col. 1988), se considera que existen diferencias entre el retorno a los valores normales de consumo de  $O_2$  y de lactato en sangre tras un esfuerzo supramáximo e intermitente en series de 45" de trabajo intercaladas con 45" de descanso sobre un tapiz rodante. La rápida normalización de los valores de  $O_2$ , frente a los del lactato, confirma que no hay una relación directa entre la deuda de  $O_2$ , y los niveles de lactato sanguíneo tras un ejercicio muscular (Rieu, M. y col. 1988), justificando en nuestro caso esa independencia entre el lactato acumulado y el Costo Cardíaco a pesar de las diferencias en los protocolos de trabajo.

Retomando las consideraciones expuestas, concluimos:

1. La Curva de Fatiga de Carlson produce elevados niveles de lactato, independientes del rendimiento de los sujetos.
2. El valor del parámetro "Costo Cardíaco" dado por Carlson, es inde-



pendiente también de los ciclos totales.

3. La Curva de Fatiga de Carlson no es, por lo tanto, un método válido de evaluación y control del entrenamiento de la Capacidad Anaeróbica Láctica.

## **Bibliografía**

- AYALON, A; INBAR, O, BAR-OR, O. "Relationships among measurements of explosive strength and anaerobic power". International series on sports Sciences. 1974, 1, Biomechanics IV, 572-7.
- ASTRAND y RODHAL. "Fisiología del deporte". Panamericana. Madrid. 1985.
- BROOKS, G. A. "Blood lactic acid: Sport "bad boy". Turns good. " Sports Science Exchange, 1988.1, 2.
- CHIANG, M. T; LATORRE, P y ZAPATA, E. "Predicción de la potencia máxima aeróbica en escolares a través de la carrera de 30m" Apunts Educació Física i Esports. 1991, 25.
- DONSO, H; SCHULER, C; QUINTOM, G; SANTANA, R. "Valoración de la capacidad física en nadadores". Archivos de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte. 1977. 22, 4-8.
- DOTAN, R; BAR-OR, O. "Load optimization for the Wingate anaerobic test". European Journal of Applied Physiology. 1983, 51, 409-407.
- FOX, E. L. "Fisiología del deporte". 1985. Panamericana. Madrid.
- GARCÍA DEL MORAL, I; GARCÍA DEL MORAL, J y RODRÍGUEZ, A. "Factores que afectan a la lactacidemia durante un test de esfuerzo". Archivos de Medicina del Deporte. 1988. 5, 20, 375-386.
- MARGARIA, R; AGHEMO, P; ROBELLI, E. "Measurement of muscular anaerobic power in man". Journal of Applied Physiology. 1966, 21, 1662-1664.
- MARTIN, J. F. "Métodos de valoración del metabolismo anaeróbico". Archivos de Medicina del Deporte. 1987. 3, 9, 71-74.
- MCARDLE, W; KATCH, F y KATCH, V. "Fisiología del ejercicio". 1990. Alianza. Madrid.
- MERCIER, J; MERCIER, B y PREFAUT, C. "Blood lactate increase during de force velocity exercise test". International Journal of Sports Medicine. 1991, 12, 17-20.
- PADILLA, S; DARMOIS, D; DENIS, C y LACOUR, J, R. "Capacidad aeróbica y anaeróbica en corredores de medio fondo. Relaciones con la marca de 1.500m en pista". Archivos de Medicina del Deporte. 1991. 8, 30, 141-146.
- RIEU, M; DUVALLET, A; SCHARAPAN, L; THIENLART, L y FERRY, A. "Blood lactate accumulation in intermittent supramaximal exercise". European journal Applied of Physiology. 1988. 57, 2, 235-242.