

## FUENTES DE ENERGIA

Prof. Edgar Lopategui Corsino  
M.A., Fisiología del Ejercicio

### I. EL CONCEPTO DE ENERGIA

#### A. Definición de Energía

La capacidad para llevar a cabo trabajo.

#### B. Definición de Trabajo

La aplicación de una fuerza a través de una distancia.

#### C. Formas de Energía

1. Química.
2. Mecánica.
3. Calorífica.
4. Radiante.
5. Eléctrica
6. Nuclear

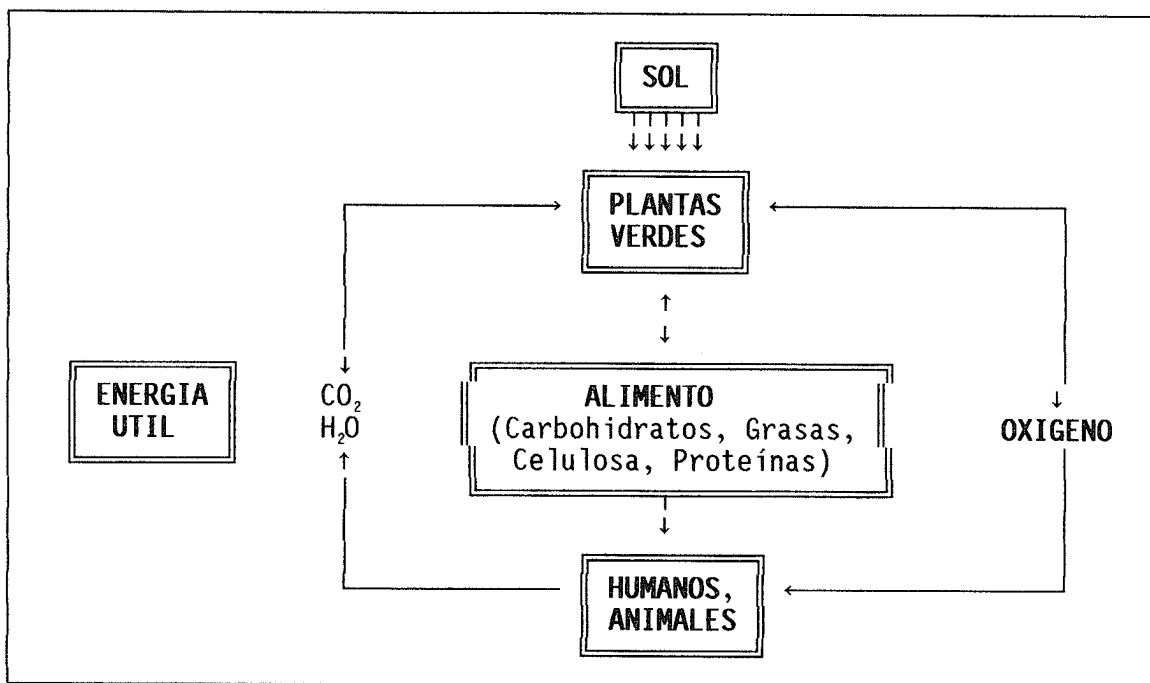


Figura 1

#### EL CICLO BIOLÓGICO DE ENERGIA

(Adaptado de: Fox, Edward L., Richard W. Bowers y Merle L. Foss. The Physiological Basis for Exercise and Sport. 5ta. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1993. p. 12)

## D. Origen de la Energía - El Ciclo Energético Biológico (Véase Figura 1)

Toda nuestra energía proviene del sol (energía solar) y ésta se origina de la energía nuclear. Esta energía proveniente del sol la capturan las plantas verdes en forma de energía química a través de la fotosíntesis; esto es, junto con la energía radiante, la clorofila de las plantas, y el agua y el bióxido de carbono, las plantas producen moléculas de alimentos (carbohidratos, grasas, y proteínas) que poseen energía potencial química. Los animales (y seres humanos) dependen de las plantas y otros animales para poder producir su propia energía, la cual se produce mediante la degradación de los nutrientes en la célula (carbohidratos, grasas, y proteínas) con la presencia de oxígeno; dicho proceso se conoce como respiración celular (o metabolismo), y tiene el objetivo de proveer energía para el crecimiento, contracción del músculo, transporte de compuestos y líquidos, y para otras funciones del organismo.

## II. FUENTES DE ENERGIA PARA EL HOMBRE

### A. Adenosina de Trifosfato (ATP)

#### 1. Concepto:

Es un compuesto químico de alta energía que producen las células al utilizar los nutrientes que provienen de las plantas y animales.

#### 2. Utilidad (véase Figura 2):

Cuando este compuesto se descompone produce energía para diferentes funciones vitales del cuerpo (contracción muscular, digestión, secreción glandular, reparación de tejidos, circulación, transmisión nerviosa, etc).

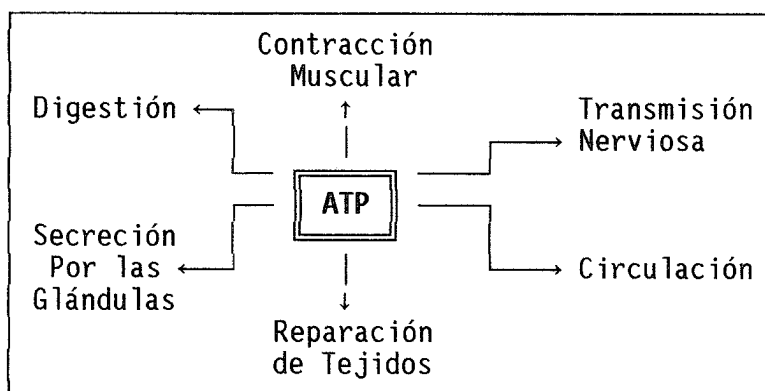


Figura 2

#### UTILIDAD DEL ATP

(Adaptado de: McArdle, William D., Frank I. Katch y Victor L. Katch. Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance. 4ta. ed.; Baltimore: Williams & Wilkins, 1996. p. 102)

### 3. Estructura (véase Figura 3):

Consiste en un gran complejo de moléculas, llamada adenosina, y tres componentes más simples, los grupos fosfatos. Los dos últimos grupos fosfatos representan "enlaces de alta energía". En otras palabras, almacenan un alto nivel de energía química potencial.

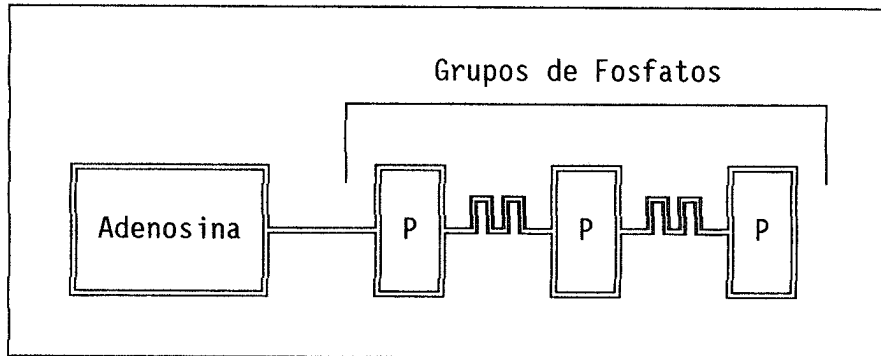


Figura 3

#### ESTRUCTURA GENERAL MOLECULAR DEL ATP

(*Adaptado de:* Bowers, Richard W. y Edward L. Fox. *Sports Physiology*. 3ra. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1992. p. 18)

### 4. Mecanismo para que el ATP emite energía (véase Figura 4):

- a. Cuando se rompe el enlace terminal del fosfato, se emite energía (alrededor de 7 a 12 kcal por cada mol de ATP), lo cual permite que la célula realice trabajo biológico.
- b. Subproductos finales:
  - 1) Adenosina de difosfato (ADP).
  - 2) Un fosfato inorgánico (Pi).

### B. Principio de Reacciones Acopladas (Véase Figura 5)

La energía emitida durante la descomposición de los alimentos y la fosfocreatina (PC) se unen funcionalmente o se acoplan con las necesidades energéticas de la reacción que resintetiza el ATP de ADP y Pi. Se ha comprobado que ese acoplamiento es el principio fundamental en la producción metabólica del ATP.

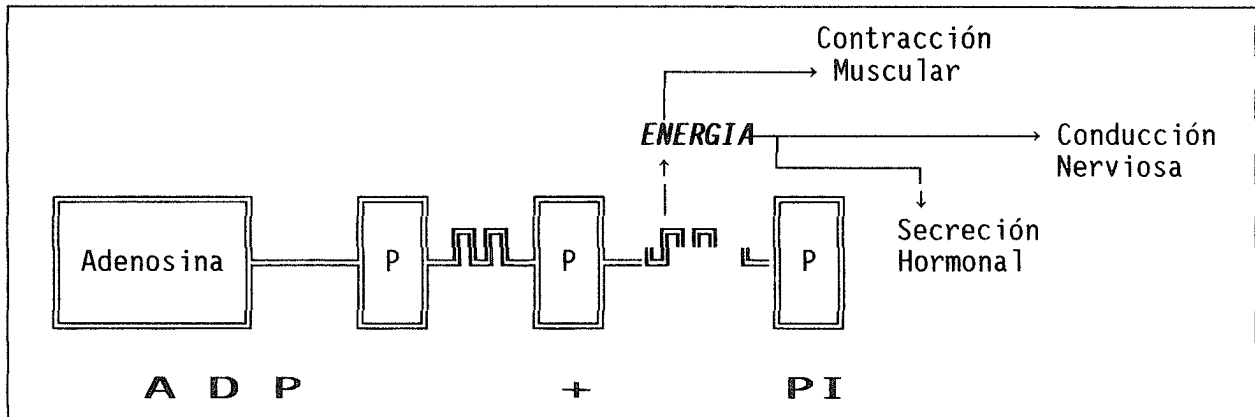


Figura 4

**DESCOMPOSICION/DEGRADAMIENTO DEL ATP Y SU CONSECUENTE LIBERACION DE ENERGIA PARA TRABAJO BIOLÓGICO ÚTIL (CONTRACCION, CONDUCCION NERVIOSA, SECRECION, ENTRE OTROS**  
*(Adaptado de: Bowers, Richard W. y Edward L. Fox. Sports Physiology. 3ra. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1992. p. 18)*

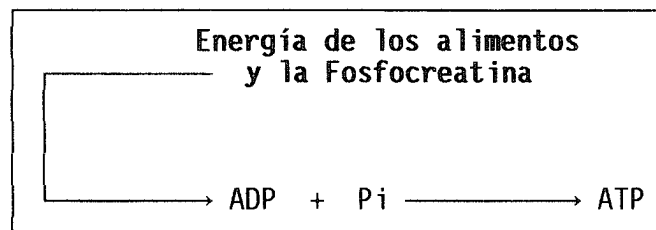


Figura 5

#### SINTESIS DEL ATP POR REACCIONES ACOPLADAS

*(Adaptado de: Bowers, Richard W. y Edward L. Fox. Sports Physiology. 3ra. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1992. p. 18)*

### III. FUENTES DE ATP

#### A. Introducción

##### 1. Definición de metabolismo:

Conjunto de reacciones químicas que se realizan en las células del cuerpo, con el fin de proveer energía útil para las diversas funciones orgánicas.

## B. Metabolismo Anaeróbico

### 1. El sistema de ATP-PC (o Fosfágeno) - Véase Figura 6

#### a. Utilidad del sistema:

Representa la fuente más rápida de ATP para el uso por los músculos.

#### b. Ventajas:

- 1) No depende de una serie de reacciones químicas (rápida disponibilidad de energía).
- 2) No depende de energía.

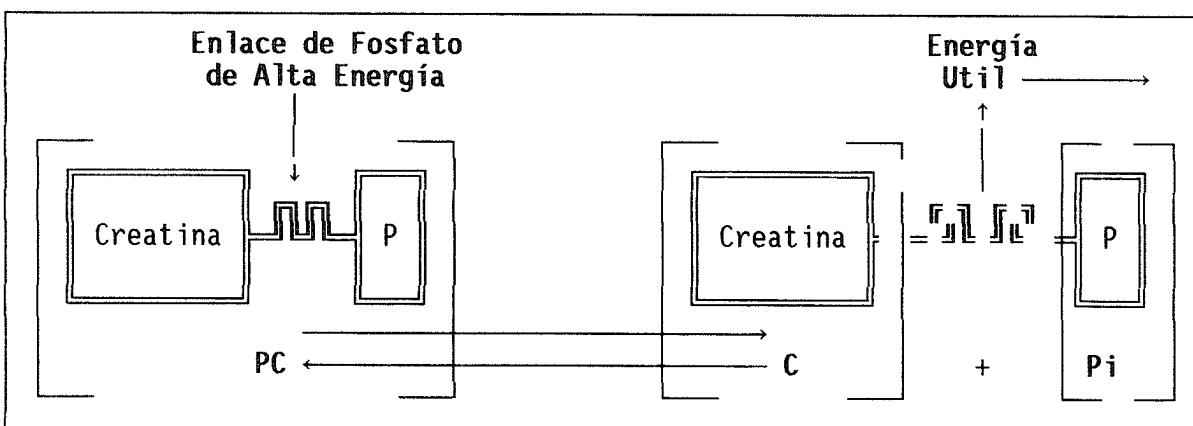


Figura 6

**EL SISTEMA DE ATP-PC - EL SISTEMA DE FOSFAGENO -**  
 (*Adaptado de:* Fox, Edward L., Richard W. Bowers y Merle L. Foss. The Physiological Basis for Exercise and Sport. 5ta. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1993. p. 17)

#### c. Desventajas:

##### 1) Produce relativamente pocas moléculas de ATP:

Las reservas musculares de los fosfágenos (ATP y PC) son muy pequeñas (sólo alrededor de 0.3 mol en las mujeres y 0.6 en los varones). En consecuencia, la cantidad de energía obtenible a través de este sistema es limitado, lo cual limita también la producción de ATP (mediante reacciones acopladas).

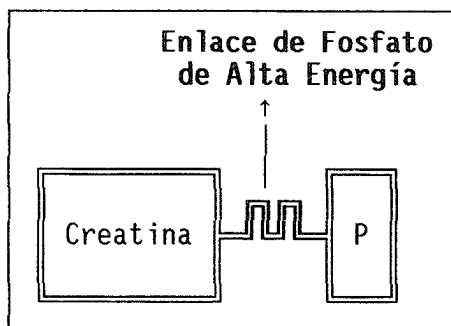


Figura 7

### LA MOLECULA DE LA FOSFOCREATINA

(Adaptado de: Bowers, Richard W. y Edward L. Fox. Sports Physiology. 3ra. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1992. p. 20)

d. Combustible químico del sistema:

Fosfocreatina (PC)

e. ¿Que es la fosfocreatina?

Es otro de los compuestos fosfatados "ricos en energía" que se almacena en las células musculares.

f. Estructura de la fosfocreatina (véase Figura 7):

Creatina y un fosfato.

g. Utilidad de la fosfocreatina (véase Figura 8):

La energía liberada al descomponerse el PC (es decir, cuando se elimina su grupo fosfato) se libera gran cantidad de energía, la cual se acopla al requerimiento energético necesario para la resíntesis del ATP.

h. Productos finales:

1) Creatina (C)

2) Fosfato inorgánico (Pi)

i. Importancia del sistema para la educación física y deportes:

El sistema ATP-PC es útil para las salidas explosivas y rápidas de los velocistas, jugadores de fútbol, saltadores, los lanzadores de pesa y otras actividades similares que requieren sólo pocos segundos para completarse.

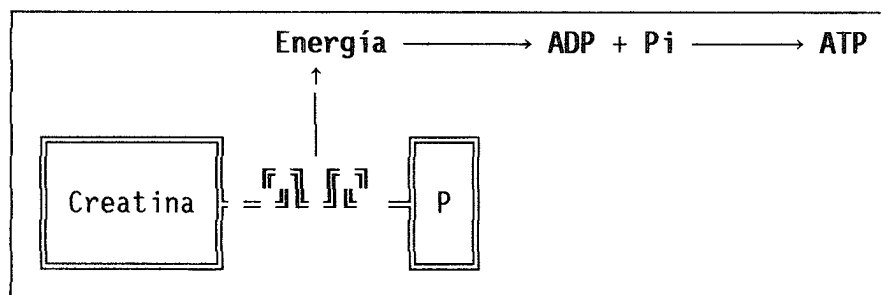


Figura 8

**SINTESIS DEL ATP A PARTIR DE LA PC**

(*Adaptado de:* Bowers, Richard W. y Edward L. Fox. *Sports Physiology*. 3ra. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1992. p. 20)

2. El sistema de ácido láctico (glucólisis anaeróbica) - véase Figura 9 -:

a. Concepto:

Vía química o metabólica que envuelve la degradación incompleta (por ausencia de oxígeno) de la glucosa (la forma más simple de los carbohidratos, los cuales son parte de las sustancias alimenticias), resultando en la acumulación de ácido láctico en los músculos y sangre.

b. Combustible químico o sustancia alimenticia utilizada:

Carbohidratos (glucógeno y glucosa).

c. Ventajas del sistema:

- 1) Provee un suministro rápido de ATP.
- 2) No requiere oxígeno (anaeróbico)

## d. Desventajas:

- 1) Solo puede resintetizar algunos moles de ATP a partir de la descomposición de la glucosa (o azúcar):

El sistema del ácido láctico sólo puede producir 3 moles de ATP mediante la descomposición anaeróbica (proceso de glucólisis anaeróbica) de 1 mol o 180 gramos (alrededor de 6 onzas) de glucógeno (éste último representa la forma de almacenamiento de la glucosa o del azúcar en los músculos).

- 2) Elabora ácido láctico como uno de los productos finales, el cual origina una fatiga muscular transitoria cuando se acumula en los músculos y en la sangre a niveles muy elevados.

## e. Productos finales:

- 1) Formación limitada de ATP.
- 2) Acido láctico.

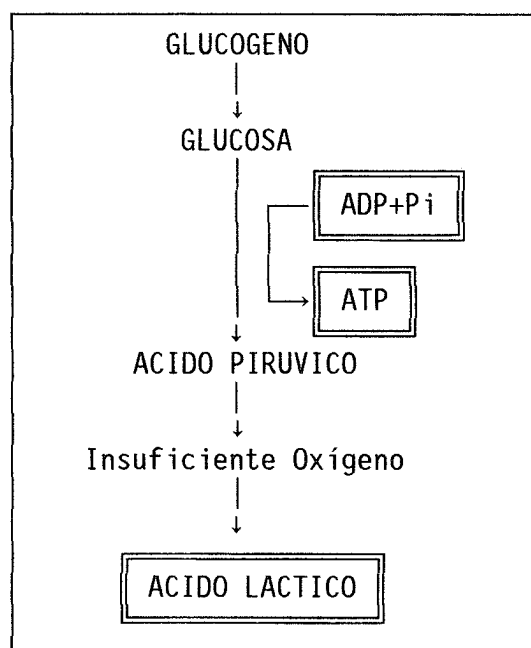


Figura 9

**EL SISTEMA DE ACIDO LACTICO - GLUCOLISIS ANAEROBICA -**  
 (Adaptado de: Fox, Edward L., Richard W. Bowers y Merle L. Foss. The Physiological Basis for Exercise and Sport. 5ta. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1993. p. 24)

f. Importancia del sistema para la educación física y deportes:

Este sistema es de suma importancia para aquellas actividades físicas (o pruebas deportivas) que se realizan a una intensidad máxima durante periodos de 1 a 3 minutos, como las carreras de velocidad (400 y 800 metros) y la natación por debajo del agua (sostener la respiración). Además, en algunas pruebas, como la carrera de 1,500 metros o de la milla, el sistema del ácido láctico se utiliza en forma predominante para la "levantada" al final de la carrera.

C. Metabolismo Aeróbico (El Sistema de Oxígeno) - Véase Figura 10 y Figura 11 -

1. Concepto:

Vía química o metabólica que envuelve la descomposición completa (por estar presente oxígeno) de las sustancias alimenticias (carbohidratos, grasas y proteínas) en bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

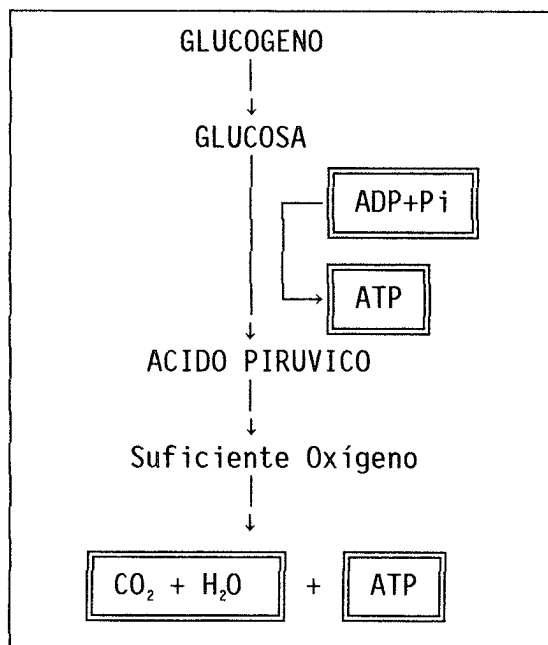


Figura 10

**EL SISTEMA DE OXIGENO - GLUCOLISIS AEROBICA -**  
 (Adaptado de: Fox, Edward L., Richard W. Bowers y Merle L. Foss. The Physiological Basis for Exercise and Sport. 5ta. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1993. p. 24)

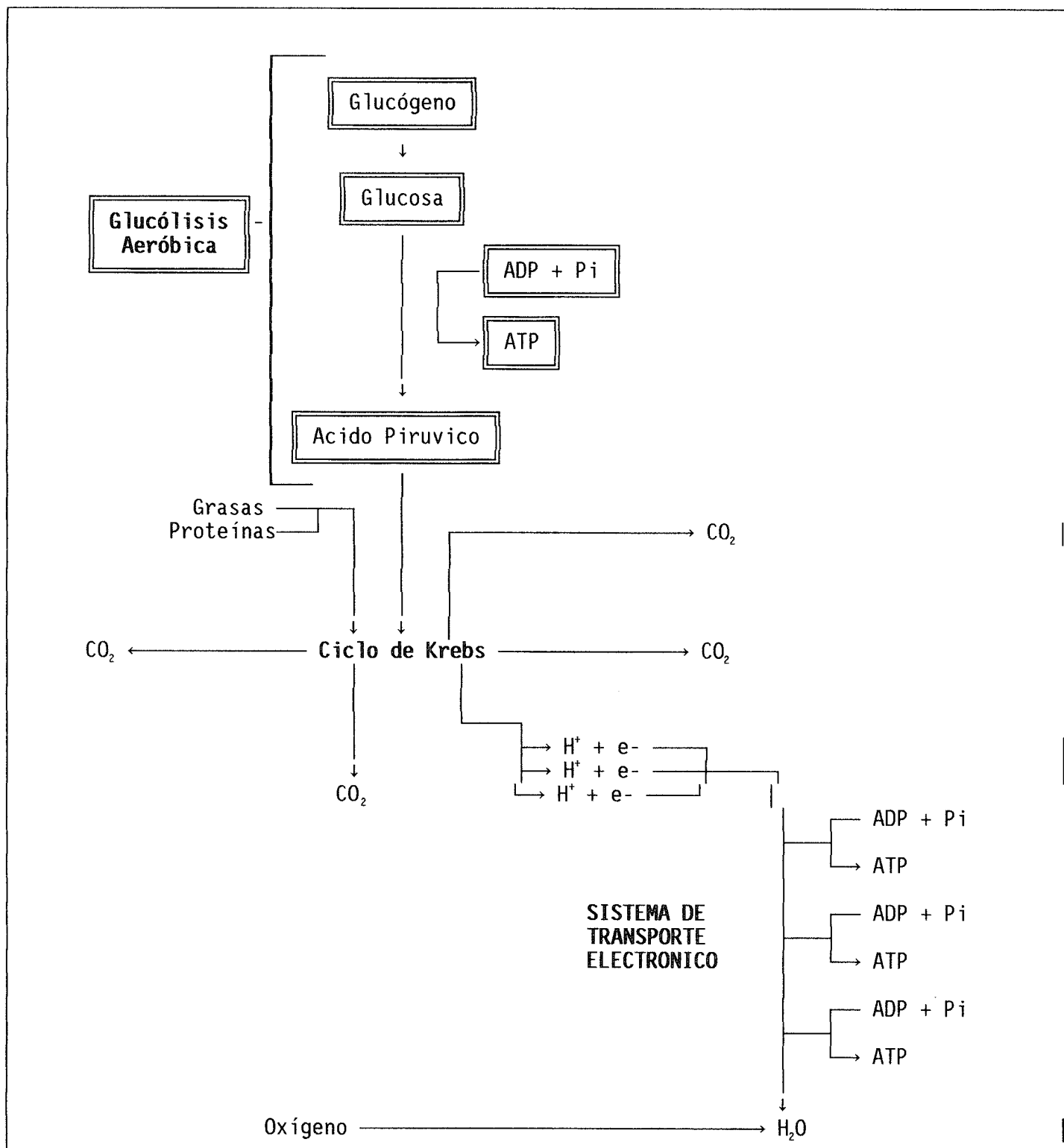


Figura 11

**METABOLISMO AEROBICO - EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE OXIGENO**  
 (Adaptado de: Bowers, Richard W. y Edward L. Fox. *Sports Physiology*.  
 3ra. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1992. p. 28)

2. Combustible químico o sustancias nutricias/alimento utilizado:

- a. Carbohidratos (glucógeno y glucosa).
- b. Grasas.
- c. Proteínas.

3. Ventajas del sistema de oxígeno:

- a. Produce una cantidad de energía suficiente para elaborar 39 moles de ATP a partir de cada mol (180 gramos) de glucógeno descompuesto completamente en bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a través de este sistema (incluyendo el proceso de glucólisis - aeróbica -).
- c. Produce 130 moles de ATP a partir de la descomposición de 256 gramos de grasa.
- d. No produce ácido láctico, ya que el oxígeno inhibe la acumulación de éste.

4. Desventajas del sistema de oxígeno:

- a. Requiere la presencia de oxígeno.
- b. La formación de ATP es lenta, ya que requiere el proceso de tres tipos de reacciones químicas, a saber: glucólisis aeróbica, el ciclo de Krebs y el sistema de transporte electrónico (cadena respiratoria).

5. ¿Donde se lleva a cabo? (véase Figura 12):

- a. La glucólisis aeróbica se procesa en el citoplasma de la célula.
- b. El ciclo de Krebs y el sistema de transporte electrónico se realiza en las *mitocondrias* (compartimientos subcelulares especializados que constituyen el asiento de la elaboración aeróbica del ATP - la "planta motriz").

6. ¿Como el oxígeno inhibe la formación del ácido láctico?

Al desviar la mayoría del precursor de el ácido láctico (el ácido pirúvico) en el ciclo de Krebs, luego de haberse formado 3 moles de ATP mediante la glucólisis aeróbica.

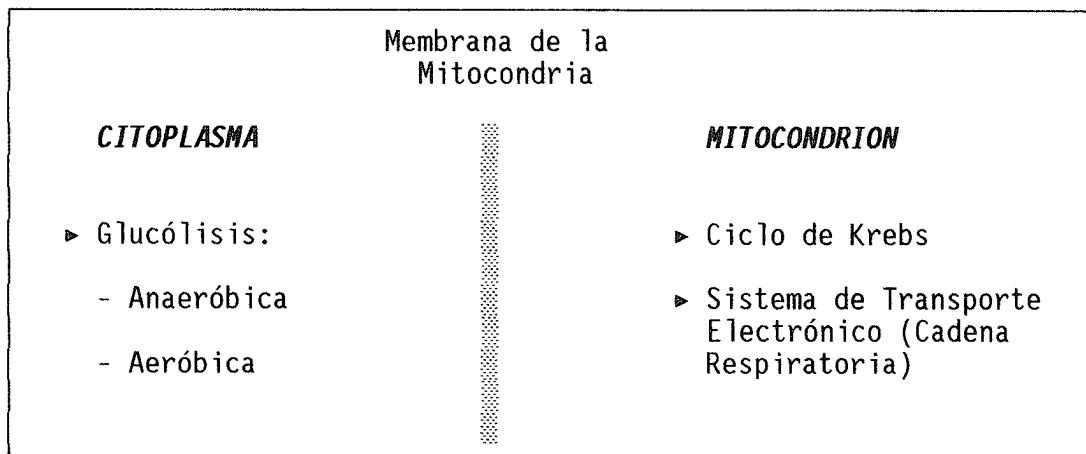


Figura 12

### UBICACIONES CELULARES DEL METABOLISMO ANAEROBICO Y AEROBICO

#### 7. Productos finales:

- a. Acido pirúvico (producto final de la glucólisis aeróbica).
- b. CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.
- c. Formación ilimitada de ATP.

#### 8. Reacciones químicas/metabólicas envueltas en el sistema de oxígeno:

##### a. Glucólisis aeróbica:

Es un proceso en el cual 1 mol de glucógeno (180 gramos) es descompuesto completamente (en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O) con el fin de emitir suficiente energía para elaborar 3 moles de ATP (mediante reacciones acopladas), durante el cual el ácido pirúvico se desvía hacia el ciclo de Krebs ya que el oxígeno inhibe la formación del ácido láctico a partir del ácido pirúvico.

##### b. El ciclo de Krebs (o ciclo del ácido cítrico):

Es un proceso metabólico en el cual (luego que el ácido pirúvico haya entrado en el ciclo) ocurren dos principales cambios químicos, a saber:

- 1) La producción de CO<sub>2</sub> (el cual es eliminado eventualmente del cuerpo mediante los pulmones).
- 2) El traslado (oxidación) de iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>) y electrones (e<sup>-</sup>).

c. El sistema de transporte electrónico (o cadena respiratoria):

Es un proceso metabólico en el cual (luego de recibir los electrones del ciclo de Krebs) ocurren dos principales eventos químicos, los cuales son:

- 1) Los iones de hidrógeno ( $H^+$ ) y electrones ( $e^-$ ) son "transportados" mediante portadores electrónicos hacia el oxígeno ( $O_2$ ) que respiramos para así formar agua ( $H_2O$ ) a través de una serie de reacciones enzimáticas.
- 2) Simultáneamente, el ATP es resintetizado a través de reacciones acopladas a partir de la energía emitida al transportarse los electrones.

9. El Metabolismo de las grasas:

Las grasas son inicialmente degradadas mediante una serie de reacciones químicas (conocido como oxidación beta), con el fin de preparar las grasas (designadas como ácidos grasos) para su entrada al ciclo de Krebs y al sistema de transporte electrónico.

10. Importancia del sistema para la educación física y deportes:

Este sistema se utiliza predominantemente durante ejercicios de larga duración, los cuales son efectuados a una intensidad submáxima, tales como las carreras de largas distancias.

#### IV. LOS SISTEMAS ENERGETICOS AEROBICOS Y ANAEROBICOS DURANTE EL REPOSO Y EL EJERCICIO

##### A. Reposo

1. Combustible químico/alimenticio metabolizado:

- a. Dos tercios provienen de las grasas (ácidos grasos y glicerol).
- b. Un tercio lo suministran los carbohidratos (glucosa).
- c. No existe valor alguno en la contribución de las proteínas (aminoácidos).

2. Sistema metabólico utilizado:

a. Metabolismo aeróbico (sistema de oxígeno):

El consumo de oxígeno (0.3 litros/min.) se mantiene constante y es suficiente para suplir el ATP requerido (i.e., el consumo de oxígeno es lo suficiente para satisfacer las necesidades de oxígeno durante el reposo).

Tabla 1

## Características Generales de los Sistemas Energéticos

Características	Metabolismo Aeróbico (Sistema de Oxígeno)	Metabolismo Sistema de Acido Láctico (Glucólisis Anaeróbica)	Aeróbico Sistema de ATP-PC (Fosfágeno)
	Combustible Químico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Carbohidratos</li> <li>▶ Grasas</li> <li>▶ Proteínas</li> </ul>	Carbohidratos
Requerimientos de Oxígeno	Sí	No	No
Reservas Musculares Totales de ATP (Moles)	90.0	1.2	0.7
Velocidad	Lento	Rápido	Muy Rápido
Potencia (Moles de ATP/min)	10	1.6	3.6
Producción Relativa de ATP	Mucha, ilimitada	Poca, Limitada	Poca, muy Limitada
Producción de ATP (1 Mol de Glucógeno)	39 moles de ATP	3 moles de ATP	-
Ejemplos de Ejercicios (Pruebas o Eventos Deportivos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 42,200 m (Maratón)</li> <li>▶ 10,00 m (6 millas)</li> <li>▶ Natación: 1,500 m</li> <li>▶ Remo</li> <li>▶ Trote</li> <li>▶ Campo travesía (en Esquí o corriendo)</li> <li>▶ Sesión normal de entrenamiento en baile/ballet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 400-800 m llanos</li> <li>▶ Natación: 400 m y 500 yardas estilo libre</li> <li>▶ Boxeo (asaltos de 3 minutos)</li> <li>▶ Lucha olímpica (asaltos de 2 minutos)</li> <li>▶ Patinaje: 500 metros</li> <li>▶ Coreografía corta de baile/ballet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 100 m llanos</li> <li>▶ 50 m estilo libre</li> <li>▶ Pruebas de campo (e.g., salto a lo largo)</li> <li>▶ "Swings" en golf, tenis y béisbol</li> <li>▶ Robo de Base en béisbol</li> <li>▶ Voleibol</li> <li>▶ Movimientos explosivos de baile/ballet</li> </ul>
Duración	> 3 minutos	1 - 3 minutos	< 30 segundos
Subproductos Finales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Acido Pirúvico</li> <li>▶ Bióxido de Carbono</li> <li>▶ Agua (H<sub>2</sub>O)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Acido Láctico</li> <li>▶ Alanina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Creatina (C)</li> <li>▶ Fosfato (Pi)</li> </ul>

## 2. Sistema metabólico utilizado:

### a. Metabolismo aeróbico (sistema de oxígeno):

El consumo de oxígeno (0.3 litros/min.) se mantiene constante y es suficiente para suplir el ATP requerido (i.e., el consumo de oxígeno es lo suficiente para satisfacer las necesidades de oxígeno durante el reposo).

## 3. Nivel del ácido láctico:

Su presencia en la sangre se mantiene constante y no se acumula (10 mg%, considerado dentro de los valores normales).

## B. Ejercicios de Corta Duración y de Alta Intensidad

### 1. Concepto:

Son ejercicios efectuados a cargas máximas durante 1 a 3 minutos.

### 2. Ejemplos:

- a. Eventos de velocidad (las carreras de 100, 200 y 400 metros llanos).
- b. La carrera de 800 metros y otros eventos.

### 3. Combustible químico/alimenticio metabolizado:

- a. Mayormente carbohidratos.
- b. Las grasas como un combustible de menos utilidad.
- c. La proteína es un combustible sin valor.

### 4. Sistema metabólico utilizado:

a. Predomina el metabolismo anaeróbico (el sistema de ATP-PC y el sistema del ácido láctico).

### b. Déficit de oxígeno:

#### 1) Definición:

Un estado en el cual la cantidad de energía emitida cuando se consume una cantidad dada de oxígeno para descomponer cierta cantidad de glucógeno o de grasas no es suficiente para resintetizar todo el ATP (mediante reacciones acopladas) que demanda un ejercicio dado (durante los ejercicios de corta duración y durante los inicios de los ejercicios prolongados).

- 2) Debido a que el consumo de oxígeno es mucho menor al oxígeno que requiere el ejercicio para la producción suficiente de ATP, se activan el sistema fosfágeno (ATP-PC) y la glucólisis anaeróbica (sistema del ácido láctico), con el fin de suplir la mayoría del ATP que requiere el ejercicio.

5. Nivel del ácido láctico:

- a. El ácido láctico se acumula en altos niveles en los músculos y en la sangre.
- b. Cuando la acumulación de ácido láctico alcanza sus niveles máximos, se inhibe la contracción muscular, lo cual causa fatiga. La fatiga se acentúa cuando las reservas de glucógeno se agotan, ya que esto significa que se les terminó al músculo su combustible utilizable.

C. Ejercicios Prolongados

1. Concepto:

Son ejercicios que se pueden mantener por períodos de tiempo relativamente largos (de 5 minutos o más).

2. Combustible químico/alimenticio utilizado:

- a. Los carbohidratos (el glucógeno) es el combustible principal durante el comienzo o la etapa inicial del ejercicio (durante la primera o segunda hora de una carrera de 42.2 km). Es importante saber que durante intensidades de trabajo entre el 60% y 90% del  $VO_{2m\acute{a}x}$  (consumo máximo de oxígeno) la contribución del glucógeno como combustible para energía aumenta. Ejercicios que excedan el 90% del  $VO_{2m\acute{a}x}$  utilizan predominantemente el glucógeno como combustible. Los maratonistas de alto rendimiento compiten a intensidades mayores del 80% del  $VO_{2m\acute{a}x}$ .
- b. Las grasas gradualmente asumen el papel principal durante un maratón debido al agotamiento de las reservas musculares y hepáticas de glucógeno durante la etapa final de la carrera. Durante ejercicios livianos y moderados (50% del  $VO_{2m\acute{a}x}$ ), la fuente predominante de energía proviene de las grasas.

3. Sistema metabólico utilizado:

- a. Predomina el metabolismo aeróbico, específicamente luego de los primeros 2 ó 3 minutos, en donde el consumo de oxígeno alcanza un estado estable.

b. Estado estable (véase Figura 13):

Período del ejercicio aeróbico (regularmente alcanzado luego de 2 ó 3 minutos de haber comenzado el ejercicio) durante el cual la cantidad de energía emitida, cuando se consume una cantidad de oxígeno para descomponer (oxidar) cierta cantidad de glucógeno o de grasa, es la suficiente para resintetizar el ATP requerido por el ejercicio. Por lo tanto, el consumo de oxígeno se mantiene constante, ya que satisface las demandas del oxígeno requerido por un ejercicio prolongado y de baja intensidad.

c. El metabolismo anaeróbico se activa solamente durante los inicios del ejercicio, es decir, durante el déficit de oxígeno.

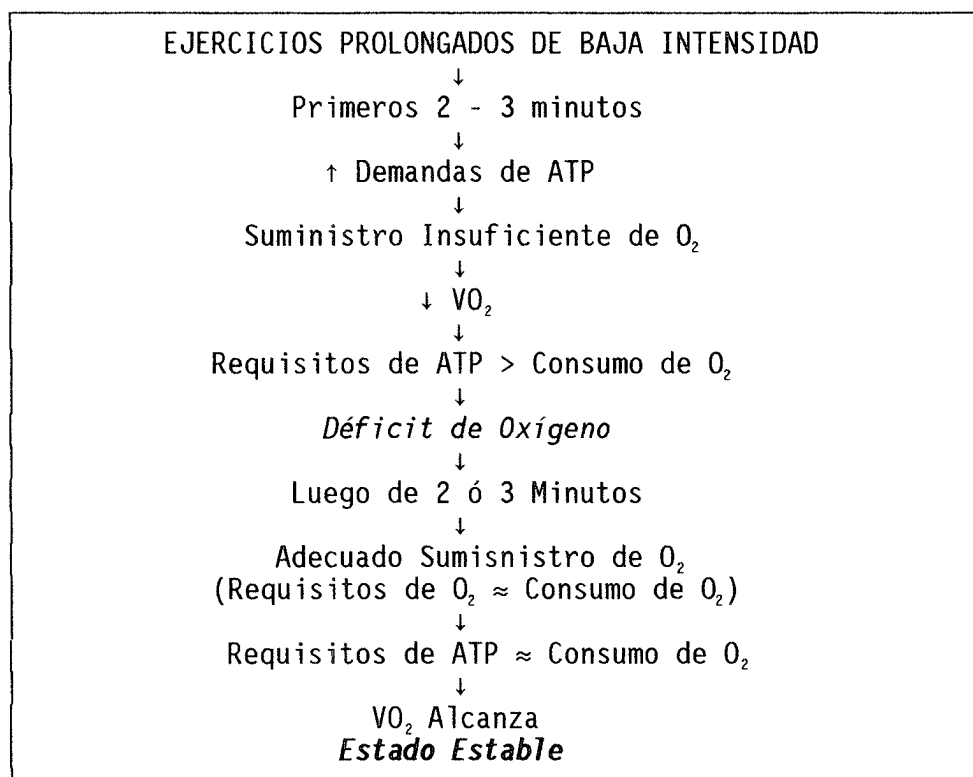


Figura 13

DESCRIPCION ESQUEMATICA DEL CONCEPTO DE ESTADO ESTABLE

4. Nivel del ácido láctico:

La pequeña cantidad de ácido láctico acumulada durante los primeros 2 ó 3 minutos de ejercicio (déficit de oxígeno) se mantiene relativamente constante hasta el final del ejercicio (durante el estado estable).

5. Aspectos importantes que ocurren durante una carrera de larga distancia (e.g., maratón):

- a. Los carbohidratos son la fuente de energía durante el comienzo o la etapa inicial de la prueba.
- b. Las grasas se convierten en la fuente principal de combustible a medida que la prueba continúa.
- c. La llegada de la prueba requiere una "levantada" ("kick") o "sprint" final. Durante esta "levantada" los hidratos de carbono constituyen un combustible importante, porque participa el sistema del ácido láctico.

6. Puntos importantes a saber que han surgido de recientes investigaciones:

- a. El ácido láctico no es la causa directa de la fatiga muscular durante un ejercicio anaeróbico:

Durante un ejercicio de alta intensidad, se produce ácido láctico como subproducto de la glucólisis anaeróbica y debido a la falta de oxígeno. La acumulación del ácido láctico causa una rápida reducción en el pH muscular y sérico. Una reducción en el pH significa un aumento en la concentración de iones de hidrógeno ( $H^+$ ), lo cual ocasiona una acidosis a nivel intracelular. Esto puede reducir los efectos que tienen los iones de calcio ( $Ca^{++}$ ) sobre troponina, es decir, la contracción de las miofibrillas musculares disminuye, reduciendo así la generación de tensión por el músculo (el ejercicio no se puede ejecutar efectivamente). Además, un bajo pH puede reducir la producción anaeróbica de ATP, provocando en esta forma la fatiga muscular. Aún más, la enzima fosfofructoquinasa (PFK), que es importante para un efectivo funcionamiento de la glucólisis, es inhibida por un bajo pH; esto reduce la rápida producción anaeróbica del ATP.

- b. La proteína puede contribuir hasta un 10% a las necesidades energéticas del ejercicio:

La proteína puede ser utilizada como combustible metabólico durante el ejercicio mediante gluconeogénesis (degradación de los aminoácidos en glucosa o glucógeno por el hígado) o por la conversión de los aminoácidos en acetil-CoA, la cual puede ser convertida en ácidos grasos o puede entrar en el ciclo de Krebs para la producción de energía por el hígado.

c. Existen fuentes adicionales de combustibles metabólicos para la producción de energía durante el ejercicio:

1) El ácido láctico:

Los maratonistas, quienes producen ácido láctico durante las etapas iniciales de una carrera competitiva, pueden utilizar el ácido láctico como combustible metabólico más tarde en la carrera; esto es posible mediante la conversión del ácido láctico en glucógeno hepático, el cual puede ser convertido en glucosa sérica para su uso como combustible químico por las células musculares activas.

2) Alanina:

La alanina, un aminoácido subproducto de la glucólisis anaeróbica, se almacena en los músculos esqueléticos y es liberada durante ejercicios prolongados, durante el cual es transportada mediante la sangre hasta el hígado, donde será convertida a glucosa mediante gluconeogénesis y devuelta a las células musculares para su uso como combustible metabólico en los sistemas energéticos.

## V. INTERACCION DE LOS SISTEMAS ENERGETICOS AEROBICOS Y ANAEROBICOS DURANTE EL EJERCICIO

### A. El Continuum Energético (Véase Figura 14)

1. Concepto:

- a. Representa la ubicación de los diferentes deportes según su sistema energético predominante (sistema de ATP-PC, sistema del ácido láctico y sistema de oxígeno o aeróbico), el cual le provee la energía (ATP) que requiere dicha actividad física.
- b. La idea del continuum energético se basa en el hecho de que la capacidad de cualquier sistema energético para suministrar ATP se vincula con el tipo específico de actividad realizada.

2. Actividades físicas que representa:

a. En el extremo superior:

Actividades deportivas breves y de alta intensidad, como la carrera de 100 m llanos, en la cual el sistema de fosfágeno (ATP-PC) suministra la mayor parte del ATP.

b. En el extremo inferior:

Actividades deportivas prolongadas y de menor intensidad (como la carrera del maratón) que son sustentadas casi enteramente por el sistema aeróbico.

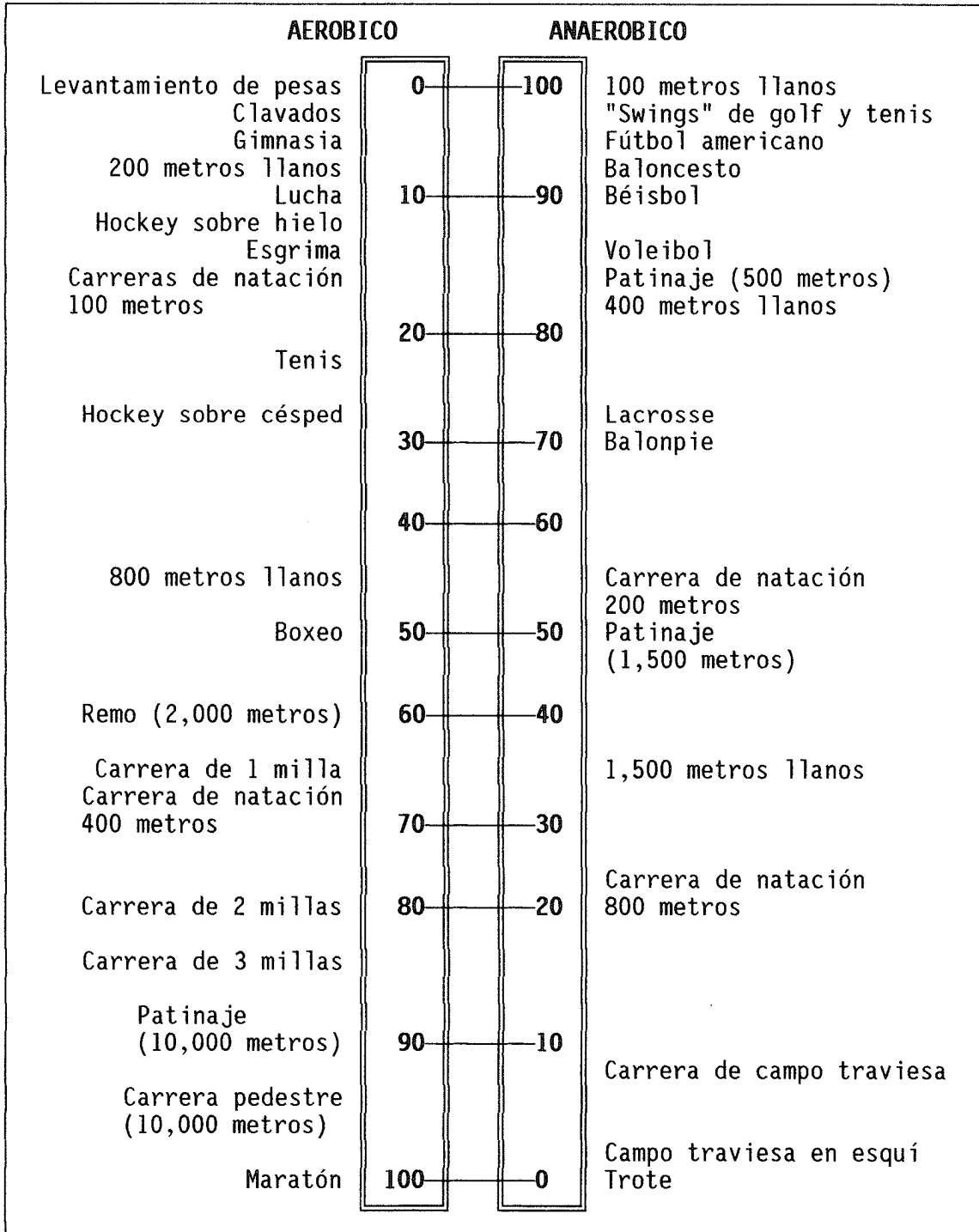


Figura 14

**EL CONTINUUM ENERGÉTICO**

(Adaptado de: Bowers, Richard W. y Edward L. Fox. *Sports Physiology*. 3ra. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1992. p. 45)

c. En el medio:

- 1) Actividades deportivas que dependen en gran medida del sistema del ácido láctico para la obtención de energía en ATP. Las carreras de 400 y 800 m llanos son ejemplos de tales actividades.
- 2) Actividades que requieren una combinación del metabolismo aeróbico y el anaeróbico, por el ejemplo, las carreras de 1,500 m llanos y la milla.

## VI. REFERENCIAS

1. Bowers, Richard W. y Edward L. Fox. Sports Physiology. 3ra. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1992. Págs. 13-73.
2. Fox, Edward L., Richard W. Bowers y Merle L. Foss. The Physiological Basis for Exercise and Sport. 5ta. ed.; Wisconsin: WCB Brown & Benchmark Publishers, 1993. Págs. 12-40.
3. McArdle, William D., Frank I. Katch y Victor L. Katch. Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance. 4ta. ed.; Baltimore: Williams & Wilkins, 1996. Págs. 89-137.
4. Noble, Bruce J. Physiology of Exercise and Sport. St Louis: Mosby, 1986. 570 págs.