

## Interrelación de los sistemas energéticos durante la realización del ejercicio físico

La transferencia de energía durante el ejercicio está dada por los 4 elementos del ejercicio: intensidad, volumen, carga y pausa. Podríamos decir que los sistemas energéticos no son correlativos sino que siempre actúan los 3 (sistema ATP-PC, Glucolisis y Oxidativo) pero hay uno que es el principal.

Durante este trabajo trataremos de explicar cada uno de ellos, además de otros temas que se relacionan directamente, como puede ser el sistema endocrino, caminos del lactato, etc.

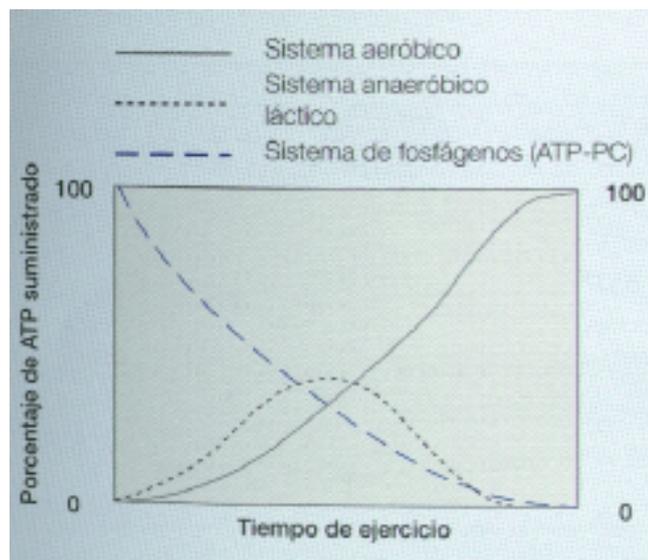


Tabla de relación ATP-Tiempo de la actividad

Si hablamos de un ejercicio que se realiza a máxima o sub máxima intensidad, poca duración (aproximadamente 10" que es la capacidad del sistema), con pausas completas, o sea relación trabajo-pausa 1:2, 1:3, el sistema de los fosfógenos será el encargado de darnos la energía. En él, el ATP es hidrolizado por la enzima ATPasa, lo cual nos dará como resultado: energía + ADP + Pi. Este sistema se agota rápidamente, lo cual obliga a descender la intensidad y a una inmediata refosforilación del ADP, proceso al cual hay que aportar energía. Esta energía procede de la glucosa (bien en su metabolismo aeróbico o anaeróbico), de las grasas y, en ocasiones, de los aminoácidos. La velocidad a la cual sea preciso reponer los fosfógenos, o lo que es lo mismo, la intensidad del ejercicio que se está realizando, será el principal factor que condicione la vía metabólica elegida por la célula muscular para recuperar el ATP.

Dinámica de la restitución del ATP a través de la PC: en ejercicios de muy alta intensidad el sistema ATP-PC es el que más rápido produce la fosforilación del ATP; esto es debido a que la PC es almacenada en el citosol muy próxima a los sitios de utilización de la ENERGÍA, y porque la hidrólisis de la PC producida por la creatinquinasa es rápidamente activada por la acumulación ADP y nos es necesario la realización de varias reacciones enzimáticas (nada más que una) antes que la energía sea transferida para abastecer la restitución del ATP. Por otra parte un factor inhibitor de esta enzima es el descenso del pH, el cual puede ser causado por una acumulación creciente de ácido láctico.

Resíntesis de la fosfocreatina: para la realización de la hidrólisis de la PC también es necesaria la provisión de energía aportada por el ATP la cual es sostenida en la pausa por los otros dos sistemas de energía, el

sistema anaeróbico láctico, pero principalmente el sistema aeróbico. Con respecto a esto último se ha comprobado en corredores de resistencia un acortamiento del tiempo de resíntesis de PCr, reflejando una mejor capacidad oxidativa de sus músculos. En general existe una correlación significativa entre el tiempo de resíntesis de PCr y el VO<sub>2</sub> máx. Esto último jerarquiza la importancia que posee el entrenamiento aeróbico dentro de los deportes dónde los gestos explosivos de carácter intermitente son determinantes para la performance deportiva (fútbol, básquet, rugby, etc.).

En la siguiente tabla se muestran los diferentes porcentajes de restitución de PCr en distintos tiempos de pausa. Como puede observarse en los primeros 30" de la misma se restituye el 50% de la PCr, ésta es la llamada fase rápida de restitución de PCr, y en los próximos 2 min. 30 seg., se restituye un 48% de que forman parte de la fase lenta.

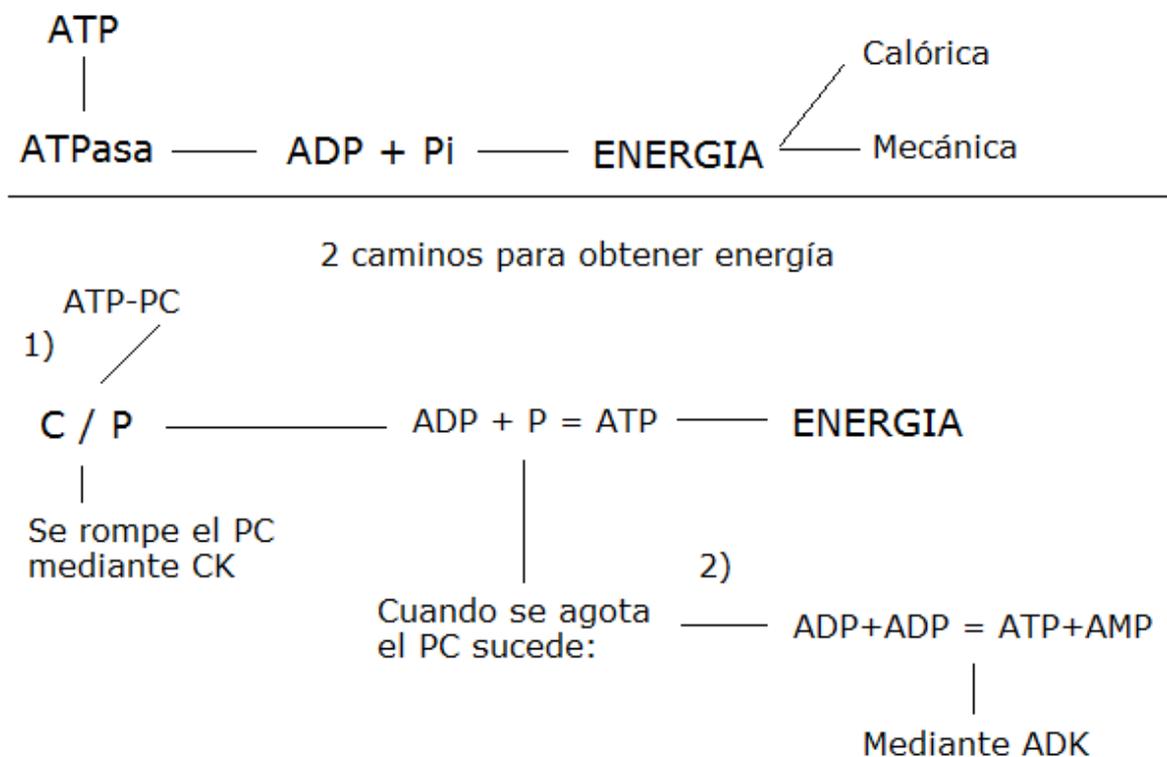
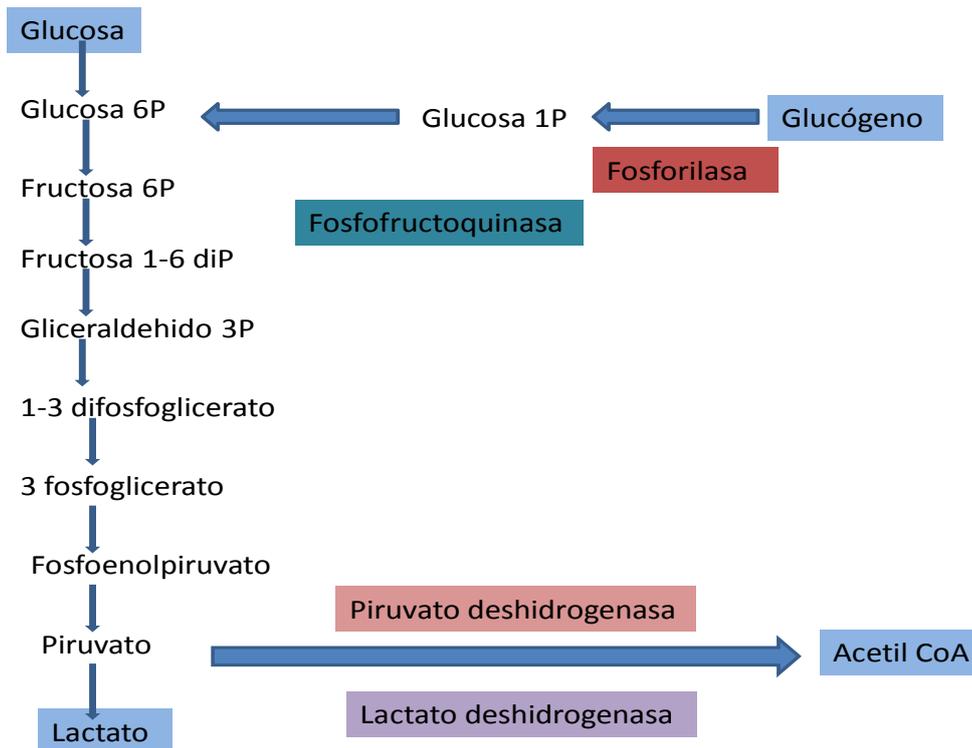


Grafico práctico del Sistema ATP-PC

Al bajar la intensidad del ejercicio, alrededor del 100% del VO<sub>2</sub> máx., y prolongarlo por demás tiempo (hasta 2 minutos aproximadamente, capacidad del sistema), la glucólisis va a ser la encargada de ser nuestro aporte energético. (Aumentan las secreciones (hormonales) de las glándulas relacionadas con el ejercicio:

suprarrenales, páncreas... ---> Más producción de Testosterona, Adrenalina, Glucagón, Catecolaminas, hormonas tiroideas, insulina... ---> Mejor síntesis y depósito de Glucógeno en hígado, aumento de captación de aminoácidos... ---> Se eleva el metabolismo). La fuente de glucosa pueden ser: la que procede del glucógeno almacenado y la que entra directamente de la glucosa circulante. Esta glucosa circundante puede ser gracias a la activación del glucagón, mediante la glucogenolisis y la glucogenosis o bajar por la insulina, la cual baja el estímulo de utilización.

En este cuadro identificaré las enzimas de la glucólisis:



### Glucólisis

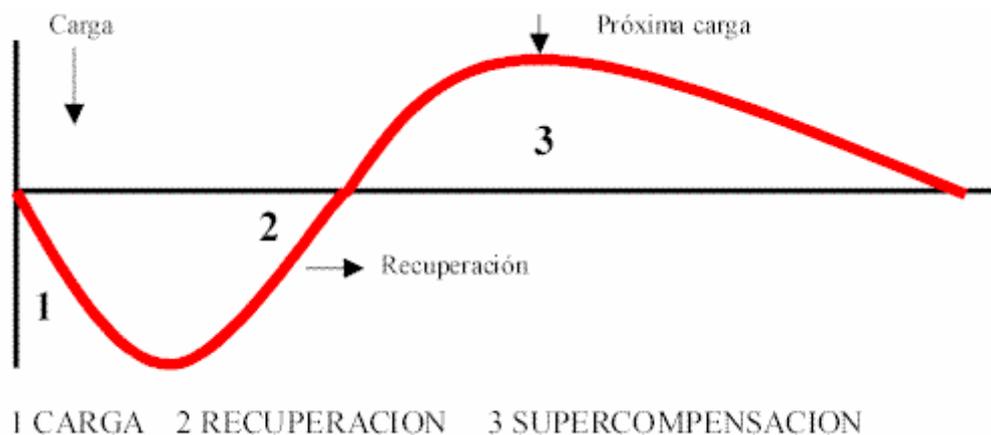
En el caso que la glucosa proceda de la circulante, es inicialmente activada y transformada en glucosa-6-p, esta entra a la célula gracias al transportador GLUT-4, el cual ayuda a pasar la membrana celular, se activa en presencia de insulina y decae si se eleva la concentración de calcio; en cambio si procede del glucógeno, la activación no es necesaria. La primera parte del catabolismo merced de una serie de enzimas (PFK) transforma la glucosa en Acido Pirúvico y finalmente en Acido Láctico a través de la enzima LDH5. Esta transformación de glucosa en AP permite la fosforilación de ADP en ATP. Esta formación de Acido Láctico libera H, los cuales en cantidad bajarían el nivel de PH celular, lo cual haría que se acidifique el medio e inhiba este proceso. Puede pasar que el ácido pase al corriente sanguíneo, Lactato, el cual necesita ser removido ya que su concentración sería perjudicial para el rendimiento (culpable fundamental del cansancio y de la fatiga). No constituye un metabolito de desecho del que el organismo va a tratar de deshacerse. En su lugar, va a tratar de obtener energía contenida en sus enlaces, bien para utilizarla como sustrato precursor de glucosa y por lo tanto glucógeno. El camino de este lactato puede seguir uno de estos 3 caminos:

- Actuar como factor gluconeogénico (síntesis de la glucosa) en el músculo (cortisol-HCTH)
- Ser oxidado en diferentes tejidos: fibras adyacentes, principalmente del tipo I y en el corazón.
- Ser captado por el hígado y/o riñones para la posterior síntesis de glucógeno hepático en el ciclo de Cori.

La adrenalina puede tener un importante efecto en el consumo neto de lactato por el músculo en contracción, debido a la probablemente estimulación de los receptores beta adrenergéticos del músculo.

Además de los destinos que acabamos de nombrar, parte del lactato puede ser difundido a otra fibra muscular oxidativa para ser oxidado en una situación de actividad muscular. Este transporte se produce a través de los MCT1 (capacidad oxidativa y captación de lactato) y MCT4 (eliminación del lactato de la célula). Es lo que Brooks denominó lanzadera de lactato o shuttle de lactato.

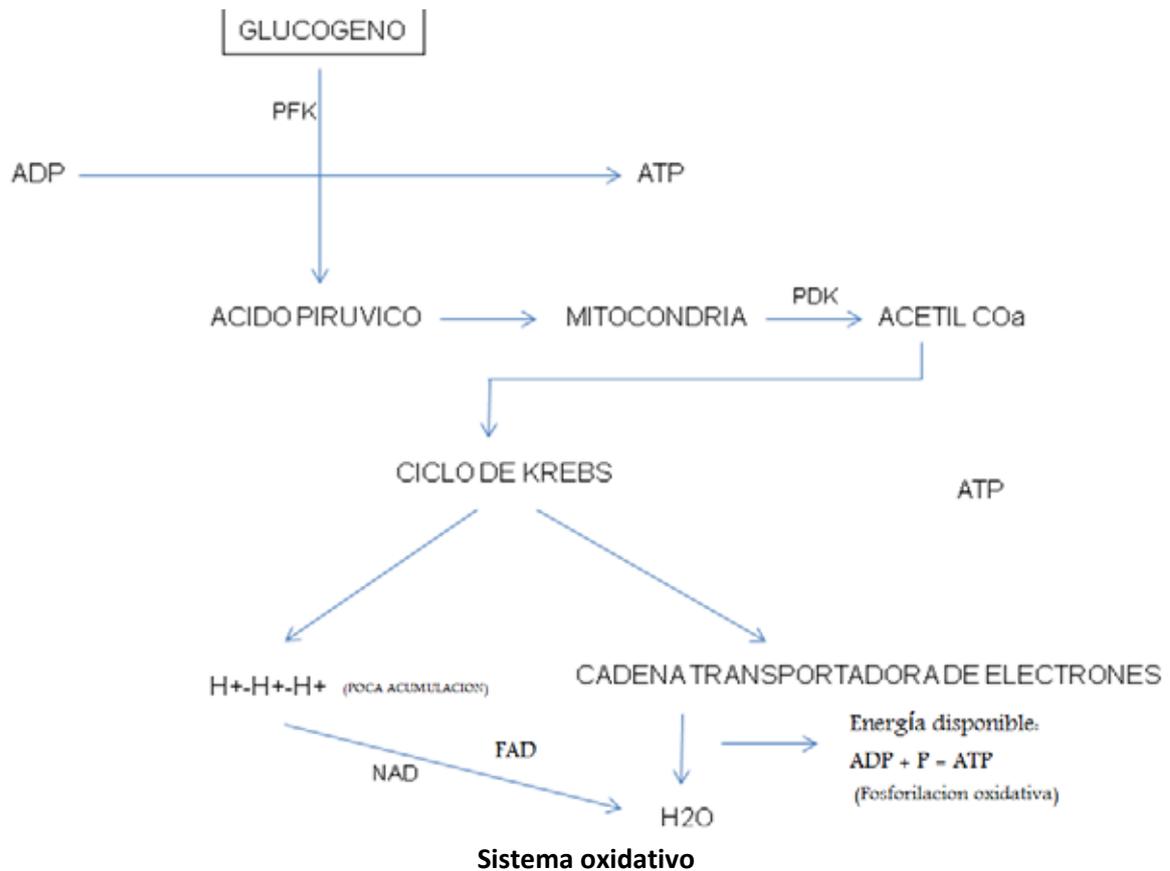
Puede también ocurrir que en ejercicios, por ejemplo 5 X 400 m., al 100-70% del  $VO_2$  máx. y con pausas que oscilen los 50 segundos o como máximo el minuto, donde nuestras reservas de glucógeno en el músculo y de glucosa en nuestro hígado se vacíen, lo que denominamos Vaciado Glucogénico, el cual posee como objetivo una mejor utilización de los hidratos del carbono y una adaptación del organismo, denominada Supercompensación:



**Imagen de supercompensación**

Por último, si hablamos de ejercicios por debajo del 40% del  $VO_2$  Max y prolongado, a nivel tiempo, el sistema oxidativo va a ser el principal, es un sistema que utiliza oxígeno, es por lo cual se denomina sistema aeróbico (hormonalmente es importante la función de la leptina, la cual trabajará sobre el tejido adiposo). En él, el ácido pirúvico a través de la PDK se transforma en Acetil CoA. La elevación de adrenalina plasmática durante el ejercicio provoca la activación de la PDK, lo que da como resultado una mayor utilización del metabolismo de los hidratos de carbono. Esto si hablamos de la oxidación de los hidratos de carbono, pero al ser actividades prolongadas entran en funcionamiento las grasas (aunque solo los triglicéridos son utilizados). Para ser utilizados estos deben descomponerse en su estructura básica: una molécula de glicerol y 2 de ácidos grasos libres. Este proceso se denomina lipólisis gracias a la enzima lipasa. Una vez liberados pueden entrar en la sangre y ser transportados por el cuerpo, entrando en las fibras a través de difusión. Una vez allí los AGL son activados gracias al ATP, preparándolos para el catabolismo, lo cual denominaremos Betaoxidación.

Una vez obtenido el Acetil CoA, se produce un proceso cíclico (Ciclo de Krebs) que consiste fundamentalmente en extraer H (reduciendo coenzimas como NAD y FAD) y los átomos de carbono en forma de  $CO_2$ . De forma sorprendente, y para rentabilizar esto, no solo se extraen los hidrógenos, sino que se utiliza el  $H_2O$  para extraer hidrógenos y volver a ser oxidados. Luego los hidrógenos entran en la cadena transportadora de electrones (gracias al NAD y FAD son llevados los e- a la mitocondria) formando finalmente  $H_2O$  y ATP.



### Deuda y déficit:

La aparición de ATP es mayormente el resultado del consumo de oxígeno por las mitocondrias de las células corporales. En los primeros segundos de un ejercicio ligero y para todos los fuertes de corta duración, el ATP es producido inicialmente por los mecanismos anaeróbicos debido a la división del fosfato de creatina y el glucógeno y/o glucosa. En un ejercicio ligero la circulación necesita de unos segundos para llevar el oxígeno extra que necesitan los músculos, en cambio en el ejercicio fuerte simplemente porque la demanda de ATP es demasiado grande para ser cubierta solo aeróbicamente, se produce la división del fosfato de creatina y glucógeno/glucosa necesariamente. A ésta falta de ATP producido aeróbicamente se lo conoce como: déficit de oxígeno cuando se da al inicio del ejercicio y deuda de oxígeno cuando se produce durante el transcurso del mismo. La deuda de oxígeno puede pagarse de dos formas, bien bajando la intensidad del ejercicio o bien al final del mismo.

La capacidad de deuda de oxígeno varía de un individuo a otro, e inclusive en un mismo individuo de acuerdo con su nivel de entrenamiento. La misma está asociada a los esfuerzos anaeróbicos que proporcionan energía inmediata a través del ATP. Después del esfuerzo sirve para reponer los depósitos de oxígeno de la hemoglobina y fluidos corporales.

### BIBLIOGRAFIA:

- Fisiología del ejercicio. López Chicharro-Fernández Vaquero. Editorial Panamericana 3° edición 2006
- Fisiología del esfuerzo y el deporte. Willmore-Costill. Editorial Paidotribo 1996