

DISEÑO DE PROGRAMAS DE FITNESS



Dr. Eloy Izquierdo Rodríguez

CAPÍTULO IV: Anexo 1. La energía para el movimiento.

LA ENERGÍA PARA EL MOVIMIENTO

Los músculos, para poder producir movimiento, necesitan utilizar energía. La energía se define como “la capacidad de generar trabajo”. Esta definición por sí sola no permite explicar nada de los procesos biológicos que tienen lugar en el organismo para la producción de energía y realización de trabajo.

Existen diversas formas de energía: química, eléctrica, mecánica, nuclear, etc., y, de acuerdo con las leyes físicas, estas formas de energía son susceptibles de transformarse unas en otras. Además otra ley física: *La energía ni se crea ni se destruye, únicamente transforma*, gobierna todos los procesos energéticos del universo, entre ellos los que tienen lugar en el organismo humano. El organismo tiene que utilizar la energía para producir trabajo en una forma determinada, la que las células son capaces de procesar para que tenga lugar la contracción muscular o cualquier otra función. Pero esta forma de energía no se encuentra en la naturaleza, sino que el organismo debe disponer de unos sistemas de transformación que le permitan obtener la forma de energía que necesita a partir de la forma de energía disponible (los alimentos). Del mismo modo un aparato eléctrico no puede obtener la energía necesaria para funcionar de la naturaleza, la energía disponible debe ser transformada en energía eléctrica, por ejemplo a partir de un salto de agua que mueve las turbinas que producen electricidad, una batería que funciona por la reacción de unos compuestos químicos o un reactor atómico que produce electricidad. También es necesario un sistema de almacenamiento, el organismo no se puede conectar a una fuente energética constante cuando necesite moverse, como sucede con un tren eléctrico. Estos dos sistemas, el de producción de energía para el esfuerzo físico y el de almacenamiento son los que se van a estudiar en este capítulo.

LAS FUENTES ENERGÉTICAS

El organismo dispone de un complejo y eficaz sistema para aportar la energía necesaria que requiere cada tipo de esfuerzo en el momento adecuado. La fuente de energía primaria es el ATP (trifosfato de adenosina). Mediante un proceso químico, el ATP pasa a ADP (difosfato de adenosina), liberándose en esta reacción una gran cantidad de energía que es utilizada por las células para realizar las funciones que les son propias.

Como la cantidad de ATP que tienen los músculos es pequeña, es necesario un aporte externo de energía para que el ADP vuelva a transformarse en ATP y haga posible a las células continuar con su trabajo.

Esta energía externa se aporta a través de tres vías metabólicas y pueden ser anaeróbicas (sin oxígeno) o aeróbicas (con oxígeno). Por otra parte, el sistema hormonal contribuye al control del metabolismo energético y el equilibrio de los fluidos

y electrolitos. Con ello, aporte energético y control hormonal, el organismo está preparado para la realización de sus funciones, entre ellas el ejercicio físico.

Los sistemas energéticos transforman la energía contenida en los alimentos en energía utilizable por los músculos. Dado que los alimentos que somos capaces de asimilar, procesar y, sobre todo, almacenar, son de tres tipos: carbohidratos, proteínas y grasas, existen tres sistemas energéticos para obtener energía a partir de cada uno de los grupos de alimentos.

Cada proceso de obtención de energía tiene unas características, unas ventajas y unos inconvenientes, pero los tres se complementan para conseguir el objetivo: el funcionamiento del organismo a los niveles de exigencia que se le requiera.

Las proteínas contribuyen a la construcción de los tejidos y estructuras: músculos, tendones, pelo, uñas, etc., y generalmente no lo hacen más que con pequeñas cantidades de energía a la función celular. Los carbohidratos y las grasas constituyen las principales fuentes de energía para el organismo. De la ruptura de sus estructuras se obtiene la energía necesaria para la regeneración del ATP necesario para el funcionamiento celular. En los esfuerzos de baja intensidad, la contribución de carbohidratos y grasas es similar, pero conforme aumenta la intensidad del esfuerzo, la contribución de los carbohidratos va aumentando y la de las grasas se reduce, hasta que en los esfuerzos de alta intensidad, la energía se obtiene de los carbohidratos en su práctica totalidad.

- ✓ El ATP es la fuente básica de energía para la función celular.
- ✓ De su degradación a ADP se libera una gran cantidad de energía.
- ✓ Hace falta un aporte externo de energía para volver a obtener ATP.

Carbohidratos

Los carbohidratos procedentes de los alimentos procesados en el aparato digestivo se transforman en glucosa (un monosacárido) y en esta forma circulan por el

Almacenamiento de nutrientes y energía	
Carbohidratos	
Glucógeno hepático	120-150 g
Glucógeno muscular	250-300 g
Calorías:	1.500 – 1.800
Grasas	
7.500 – 8.000 g (para un 12% de porcentaje graso)	
Calorías: 68.000 – 72.500	

torrente sanguíneo, almacenándose en forma de glucógeno (una molécula compleja de azúcar) en los músculos e hígado. El glucógeno presente en los músculos se encuentra en el citoplasma de las células, listo para ser utilizado como fuente de energía para la formación de ATP. El glucógeno almacenado en el hígado se transforma en glucosa cuando la intensidad o duración del

esfuerzo lo requieren y de esta forma es transportado por la sangre a los tejidos que se encuentran activos, donde se metaboliza para producir la energía necesaria para que el trabajo físico pueda continuar.

Las cantidades de glucógeno que se almacenan en hígado y músculos, son limitadas, pudiendo esfuerzos de larga duración agotarlas, con lo que se produce una drástica reducción de las capacidades de producción de trabajo. El organismo necesita entonces de reposo y de una reposición adecuada de alimentos para recuperar de nuevo su capacidad funcional.

Grasas

El metabolismo de las grasas es bastante más complejo que el de los carbohidratos, por lo tanto el proceso de obtención de energía es más lento, no obstante la capacidad de almacenamiento de grasas en el organismo es mucho mayor que de carbohidratos. Además, se obtiene mucha más energía de la misma cantidad de grasa (9 Kcal/g) que de carbohidratos (4Kcal/g). La lentitud del proceso hace que para cualquier esfuerzo físico o incluso para atender las funciones del organismo en reposo, sea necesario un cierto aporte de energía de los carbohidratos.

Proteínas

Las proteínas son susceptibles de transformarse tanto en carbohidratos como en grasas, mediante los correspondientes procesos, denominados gluconeogénesis y lipogénesis, respectivamente.

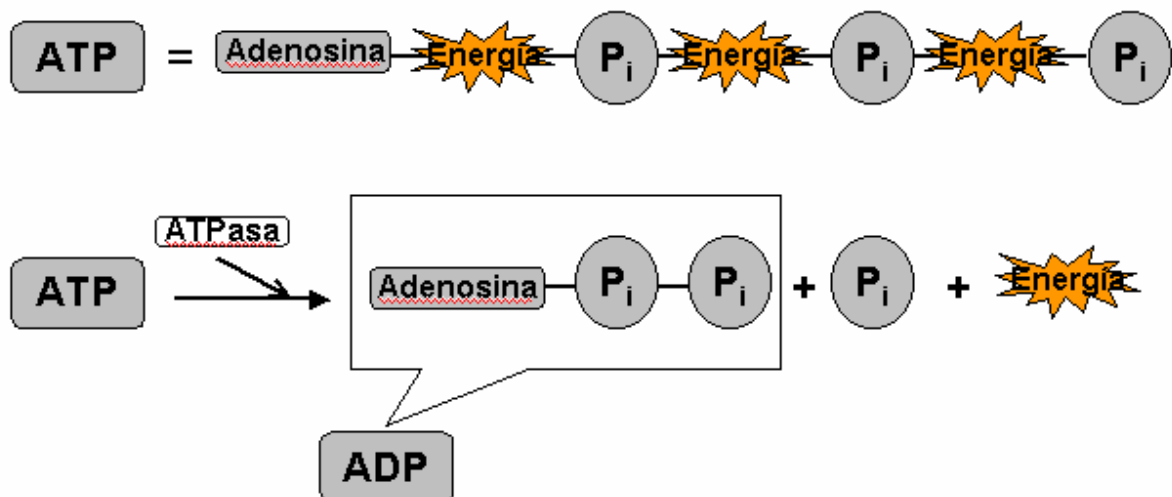
Las proteínas pueden aportar hasta un 10% de la energía necesaria en esfuerzos prolongados, pero su contribución tiene lugar cuando se acerca el agotamiento de los depósitos de glucógeno.

El glucógeno almacenado en los músculos y en el hígado (unas 1.800 cal) es la energía que se requeriría para un esfuerzo de unos 30 Km de carrera.

LOS PROCESOS METABÓLICOS. LA PRODUCCIÓN DE ATP Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.

Una molécula de ATP está formada por adenosina (una molécula de adenina y una de ribosa) combinada con tres grupos fosfato de fósforo inorgánico (Pi). Por la intervención de una enzima (compuestos químicos que regulan la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar en el organismo), la ATPasa, se produce la separación de un grupo fosfato, liberándose una gran cantidad de energía, lo que reduce el ATP a ADP.

Estructura de la molécula de ATP



Dado que las cantidades de ATP disponibles en el músculo son pequeñas, es necesario aportar energía para formar, con la velocidad que el gasto de ATP exija, nuevo a ATP a partir del ADP resultante de la reacción liberadora de energía para la función muscular. Esta energía cuyo aporte es necesario para la continuación del esfuerzo más allá de unos segundos, debe estar previamente almacenada en la forma adecuada para su utilización inmediata. El proceso de almacenamiento de energía para la formación de ATP a partir de otras fuentes químicas se llama “fosforilización”. mediante diversas reacciones químicas, se incorpora un grupo fosfato al ADP (adenosín difosfato) para formar nuevamente ATP (adenosín trifosfato). Si estas reacciones ocurren sin intervención del oxígeno (O₂), el proceso recibe el nombre de metabolismo anaeróbico. Si se producen con la intervención del oxígeno el proceso se llama metabolismo anaeróbico y la resíntesis de ATP a partir del ADP se denomina fosforilización oxidativa.

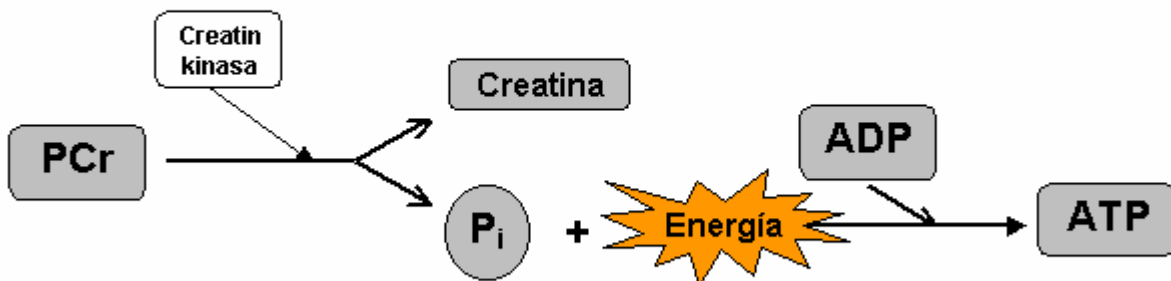
Las células son capaces de regenerar el ATP por tres métodos, sistemas o vías:

- La vía del ATP-PCr (ATP-fosfocreatina)
- La vía glucolítica
- La vía oxidativa

La vía del ATP-PCr (ATP-fosfocreatina)

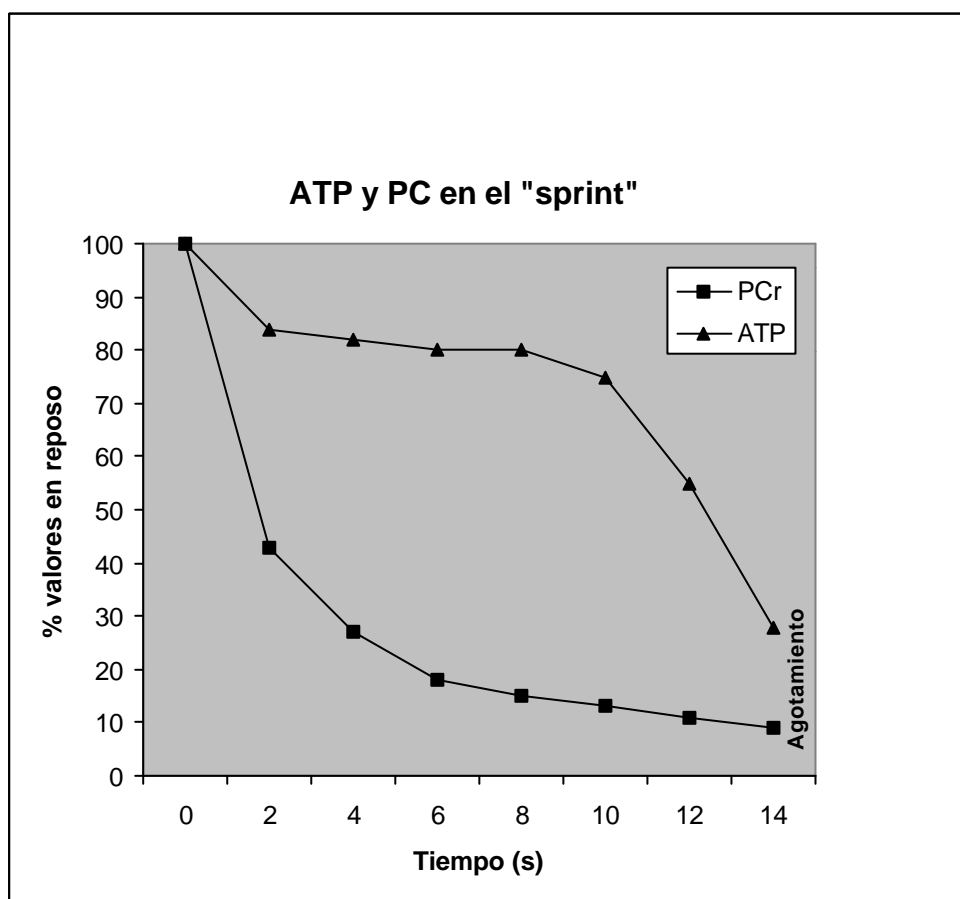
Esta vía es la más sencilla y por lo tanto la que permite un aporte de energía más rápido. En las células se encuentra otro compuesto con fósforo, aparte del ATP: la fosfocreatina (PCr), que contiene gran cantidad de energía en su enlace químico. A diferencia de lo que sucede con el ATP, la energía liberada al romperse la fosfocreatina no se utiliza para la realización del trabajo celular, sino que se usa para recomponer el ATP, lo que permite mantener constantes los niveles de ATP. Esta reacción de descomposición de la fosfocreatina en creatina (Cr) y fósforo (P) está regulada por otra enzima, la creatinquinasa (CK). El proceso se describe de forma esquemática en la figura.

Vía de la PCr. Formación de ATP



Este proceso es muy rápido, lo que permite disponer de grandes cantidades de energía y no requiere oxígeno, por lo que se conoce como un proceso anaeróbico. La duración de este proceso es corta y los niveles de fosfocreatina decrecen rápidamente hasta su agotamiento, con lo que se reduce drásticamente la capacidad de continuar un esfuerzo de alta intensidad más allá de unos 15-20 segundos. En esfuerzos de una duración mayor se requiere la intervención de otras vías para la formación de ATP, pero la potencia de estas vías, es decir, sus posibilidades de suministrar gran cantidad de energía en poco tiempo, es menor, por lo que la intensidad del esfuerzo no puede ser tan elevada y el atleta debe regular esa intensidad desde el comienzo.

En este punto existe una confusión generalizada, quizá porque debido a su evidencia, muchos manuales no la aclaran. Las vías energéticas no se ponen en funcionamiento como las fases de un cohete espacial, es decir, si se comienza un esfuerzo de máxima intensidad (vía de la fosfocreatina) y se prolonga hasta el agotamiento de los depósitos de fosfocreatina, la vía siguiente (la de la glucólisis anaerobia) no puede actuar con todas sus posibilidades de suministro de energía, es decir, que si el deportista prevé que la duración va a ser mayor, debe regular la intensidad del esfuerzo ajustándola a la potencia de la vía que va a garantizarle la energía durante todo el tiempo que necesita. Únicamente en la parte final del esfuerzo podrá aumentar la intensidad para utilizar el aporte extra de energía que le suponen las vías que le permiten mayores intensidades de trabajo. Por ejemplo, un corredor de 5.000 metros lisos es habitual que en los últimos 100 ó 200 metros realice un "sprint" en el que alcanza velocidades próximas a sus máximas para esos 100 ó 200 metros. Si el "sprint" lo hiciera al principio de la carrera, no podría continuar el resto de ella a la velocidad en que la haría en el primer caso, a pesar de que la vía energética principalmente utilizada es otra.



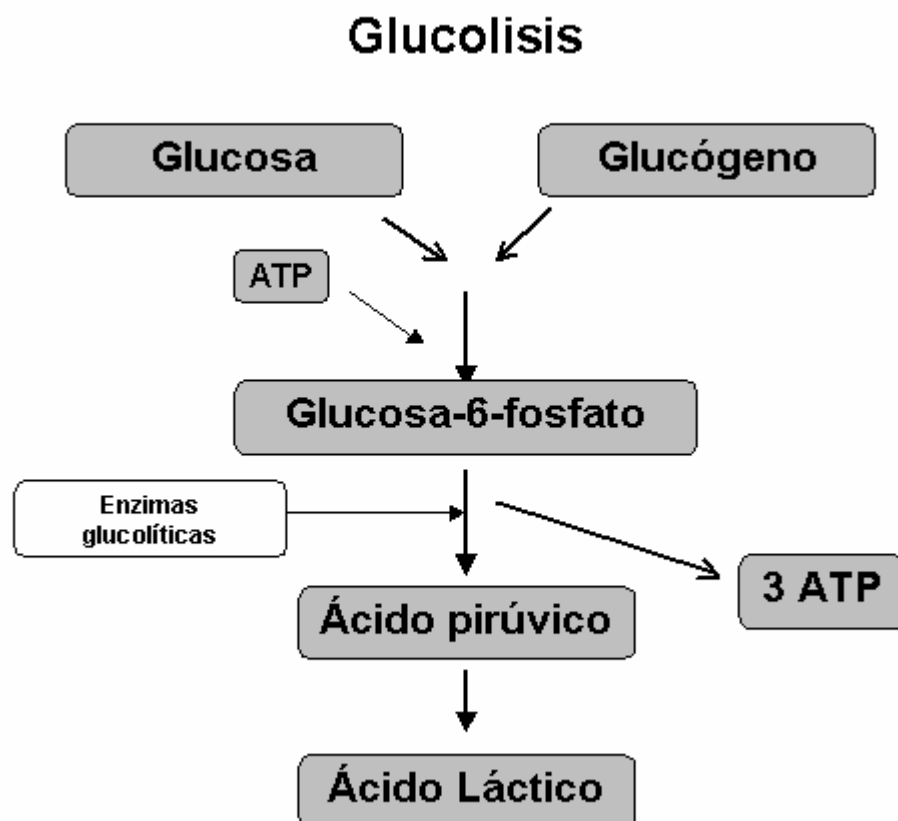
La vía glucolítica

La vía glucolítica consiste en la ruptura de la glucosa circulante en la sangre por la acción de unas enzimas específicas. Esta glucosa procede de la digestión de los

carbohidratos y de la ruptura del glucógeno hepático, previamente formado a partir de la glucosa en el proceso de la glucogénesis. El proceso de paso del glucógeno a glucosa-1-fosfato se conoce como glucogenolisis.

La glucosa y el glucógeno, para poder ser utilizados para la producción de energía deben transformarse en otro compuesto, denominado glucosa-6-fosfato, lo que requiere el gasto de una molécula de ATP por cada molécula de glucosa, y no lleva gasto de ATP si la conversión es de la glucosa-1-fosfato. La glucolisis propiamente dicha comienza cuando se ha formado la glucosa-6-fosfato.

Por la acción de las enzimas glucolíticas, al final de la glucolisis se obtiene ácido pirúvico, este proceso tiene lugar sin presencia de oxígeno, es decir, es anaeróbico. Si a partir de este punto continúa sin presencia de oxígeno, el ácido pirúvico se convierte en ácido láctico. Todo el proceso requiere 12 reacciones enzimáticas y produce 3 moles de ATP por cada mol de glucógeno (2 moles de ATP si se utiliza glucosa ya que 1 mol se utilizó en la transformación de la glucosa a glucosa-6-fosfato).



La vía glucolítica actúa en combinación con la de la fosfocreatina, lo que permite la realización de esfuerzos de alta intensidad durante unos pocos minutos, incluso con un aporte reducido de oxígeno, ya que las vías anaeróbicas no lo requieren y

la contribución aeróbica no es importante si la intensidad es muy elevada. Este tipo de esfuerzos de elevada intensidad puede sostenerse un tiempo limitado, debido a la acumulación de ácido láctico, que puede pasar en poco más de un minuto de valores de $1 \text{ mmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$ en reposo a $25 \text{ mmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$. Esta acumulación de ácido láctico tiene varios efectos que bloquean el proceso: la acidificación de las fibras musculares inhibe la acción de las enzimas glucolíticas y también el efecto de la acidosis sobre el calcio (Ca^{++}), que interviene en la contracción de las fibras musculares, llega a impedir la contracción muscular.

- ✓ El ATP proporciona la energía necesaria para la función celular y una de estas funciones es producir la contracción muscular.
- ✓ El ATP se regenera a partir del aporte de energía de otros compuestos químicos que el organismo es capaz de almacenar.
- ✓ Las vías energéticas o sistemas metabólicos son:
 - La vía del ATP-PCr
 - La vía glucolítica
 - La vía oxidativa
- ✓ En la vía del ATP-PCr la PCr, por acción de la enzima CK, el Pi (fósforo inorgánico) se separa de la creatina y se une al ADP para formar de nuevo ATP. El rendimiento de la vía es de 1 mol de ATP por 1 mol de PCr.
- ✓ La vía glucolítica implica la ruptura de la glucosa (glucolisis) y el glucógeno (glucogenolisis) [*lisis* = ruptura] por la acción de las enzimas glucolíticas pasando a ácido pirúvico. Sin presencia de oxígeno, el ácido pirúvico pasa a ácido láctico. 1 mol de glucosa genera 2 moles de ATP y 1 mol de glucógeno genera 3 moles de ATP.
- ✓ El ácido láctico y el lactato son compuestos diferentes, pero ambos términos se utilizan indistintamente, porque el ácido láctico producido en los esfuerzos anaeróbicos, se combina rápidamente y forma lactato (una sal).

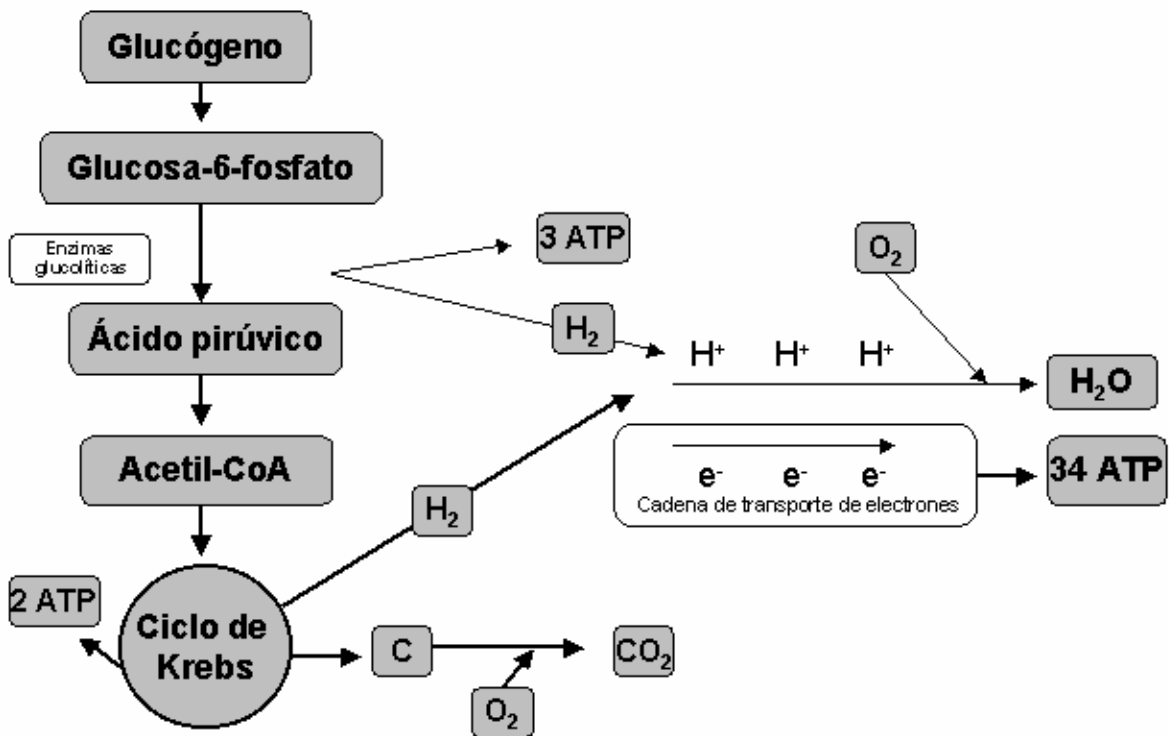
La vía oxidativa

Este sistema de aporte de energía tiene lugar con utilización de oxígeno, por lo tanto es un proceso aeróbico. La resíntesis del ATP por vía oxidativa tiene lugar en las mitocondrias, una parte de la célula. En los músculos están junto a las miofibrillas.

Esta vía tiene una gran capacidad y permite aportar energía durante mucho tiempo. El metabolismo aeróbico es la principal fuente de energía en los deportes de larga duración y se requiere un buen desarrollo de la capacidad del organismo para hacer llegar el organismo a los músculos en acción.

La vía oxidativa actúa sobre los carbohidratos, sobre las grasas y también sobre las proteínas para producir energía. A continuación se describe cada uno de los procesos oxidativos.

El metabolismo oxidativo de los carbohidratos



Oxidación de los carbohidratos

Este proceso se inicia a partir del ácido pirúvico tras la glucólisis, proceso es el mismo tanto si tiene lugar en presencia de oxígeno como sin él ya que como se recordará es anaeróbico. A partir del ácido pirúvico es cuando se establecen las diferencias entre ambos procesos, el anaeróbico y el aeróbico. En presencia de oxígeno, el ácido pirúvico se transforma en otro compuesto, la acetil-coenzima A (acetil-CoA), que una vez formada entra en el llamado *Ciclo del ácido cítrico* o *Ciclo de Krebs*, conjunto de reacciones complejas que al final produce la formación de 2 moles de ATP y la acetil-CoA acaba degradada en carbono e hidrógeno. El carbono (C) se combina con facilidad con el oxígeno (O₂) para formar dióxido de carbono (CO₂) que se difunde rápidamente fuera de las células y es transportado por la sangre a los pulmones desde donde se expulsa.

La cadena de transporte electrónico

DIRECCIÓN DE PROGRAMAS DE FITNESS

Capítulo 4. Anexo 1. La energía para el movimiento

Durante el proceso de transformación de la glucosa a ácido pirúvico y también en el ciclo de Krebs se producen determinadas cantidades de hidrógeno (H_2) que mediante la intervención de ciertas coenzimas se dividen en protones (H^+) y electrones (e^-) en un proceso al final del cual los protones (H^+) se combinan con oxígeno (O^-) para formar agua (H_2O) y los electrones que fueron separados del hidrógeno entran en un proceso denominado cadena de transporte de electrones donde tiene lugar una serie de reacciones que proporcionan energía para la fosforolización del ADP y formación de ATP (fosforolización oxidativa).

Energía del proceso

El sistema de oxidación de los carbohidratos proporciona en total energía suficiente para la formación de 39 moléculas de ATP a partir de una molécula de glucógeno (o 38 si se parte de glucosa).

Producción de energía por oxidación del glucógeno		
Parte del proceso	Formación de ATP a partir de 1 molécula de glucógeno hepático	
	Directamente	Por el aporte de H^+ y e^- a la cadena de transporte de e^-
Glucolisis	3	6
A. pirúvico a acetil-CoA	0	6
Ciclo de Krebs	2	22
	5	34
	TOTAL	39 ATP

Oxidación de las grasas

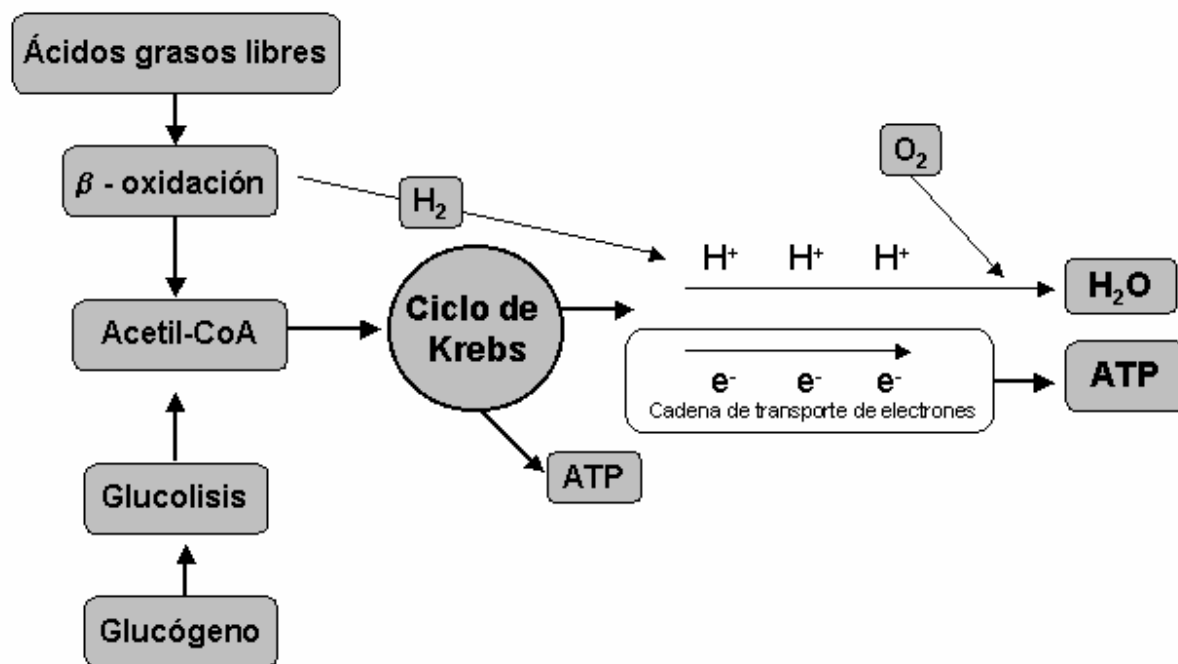
Las grasas constituyen una reserva prácticamente ilimitada de energía, ya que la almacenada en músculos y células de grasa supone unas 75.000 Kcal., frente a las 1.500 – 2.000 Kcal. de los depósitos de glucógeno.

Aunque otros compuestos químicos presentes en el organismo son considerados como grasas, únicamente los triglicéridos constituyen la fuente de energía. Se almacenan en las células de grasa y en las fibras de la musculatura esquelética. Al igual que sucedía con el glucógeno, los triglicéridos se descomponen en unidades básicas por la acción de unas enzimas específicas (lipasas) en un proceso denominado lipólisis y así, estas unidades básicas (ácidos grasos libres) pasan al torrente sanguíneo y entran en las fibras musculares por difusión.

Una vez dentro de las fibra muscular, los ácidos grasos, son activados por las correspondientes enzimas para su ruptura (catabolismo) en el interior de la mitocondria celular. Este proceso se denomina ***β-oxidación*** (beta oxidación) y finaliza con la formación de acetil-coenzima A, al igual que sucedía en el proceso de oxidación de la glucosa.

Ciclo de Krebs La acetil-CoA formada en la β -oxidación entra en el ciclo de Krebs siendo todo el proceso similar al mencionado para la glucosa o glucógeno, con la única diferencia de necesitar más oxígeno por molécula de ácido graso para su combustión, al tener éstos más carbonos (C) que la molécula de glucosa.

Vías comunes del metabolismo del glucógeno y las grasas



Al tener los ácidos grasos más moléculas de C en su estructura, se forma más cantidad de acetil-CoA, más cantidad entra en el ciclo de Krebs y más electrones libres entran en la cadena de transporte de electrones. Por esta razón se obtiene mucha más energía del metabolismo de los ácidos grasos que de la glucosa. Por ejemplo, por una molécula de ácido palmítico (un ácido graso libre muy abundante, con 16 C), se obtienen 129 moléculas de ATP al final de todo el proceso, frente a las 38 o 39 de la glucosa o glucógeno.

Producción de energía por oxidación del ácido palmítico		
Formación de ATP a partir de 1 molécula de ácido palmítico		
Parte del proceso	Directamente	Por la fosforilización oxidativa
Activación de los ácidos grasos libres		- 2
β -oxidación	0	35
Ciclo de Krebs	8	88
	8	121
	TOTAL	129 ATP

Metabolismo de las proteínas

Algunos aminoácidos que forman las proteínas pueden convertirse en glucosa, proceso conocido como gluconeogénesis y otros pueden incorporarse a otros pasos intermedios del proceso oxidativo al transformarse en piruvato o acetil-CoA.

Por otra parte, las proteínas también tienen nitrógeno, al catabolizarse algunos aminoácidos su nitrógeno se utiliza para formar otros, ya que el nitrógeno no puede ser oxidado en el organismo, si no se utiliza para la formación de otros aminoácidos se convierte en urea y es excretado por el organismo por vía urinaria. Estos procesos consumen energía en forma de ATP. Salvo en casos excepcionales, no se utiliza más de un 5-10% de proteínas para aportar energía para el esfuerzo físico, por lo que esta vía tiene poco interés como productora de energía para el ejercicio o la vida normal.