

SISTEMAS ENERGETICOS EN EL EJERCICIO

*José Carlos Giraldo T. MD
Esp. Medicina Deportiva
Mg en Fisiología*

*Carlos Eduardo Nieto G. MD
Esp. Medicina Deportiva
Esp. Salud Ocupacional*

TRANSFERENCIA DE ENERGIA DURANTE EL EJERCICIO

- @ Las contracciones del músculo esquelético **permiten los movimientos** de los distintos huesos y cartílagos del esqueleto.
- @ Los sustratos energéticos para el músculo esquelético son fundamentalmente **las grasas y los hidratos de carbono.**
- @ En **ocasiones** las proteínas actúan como sustratos

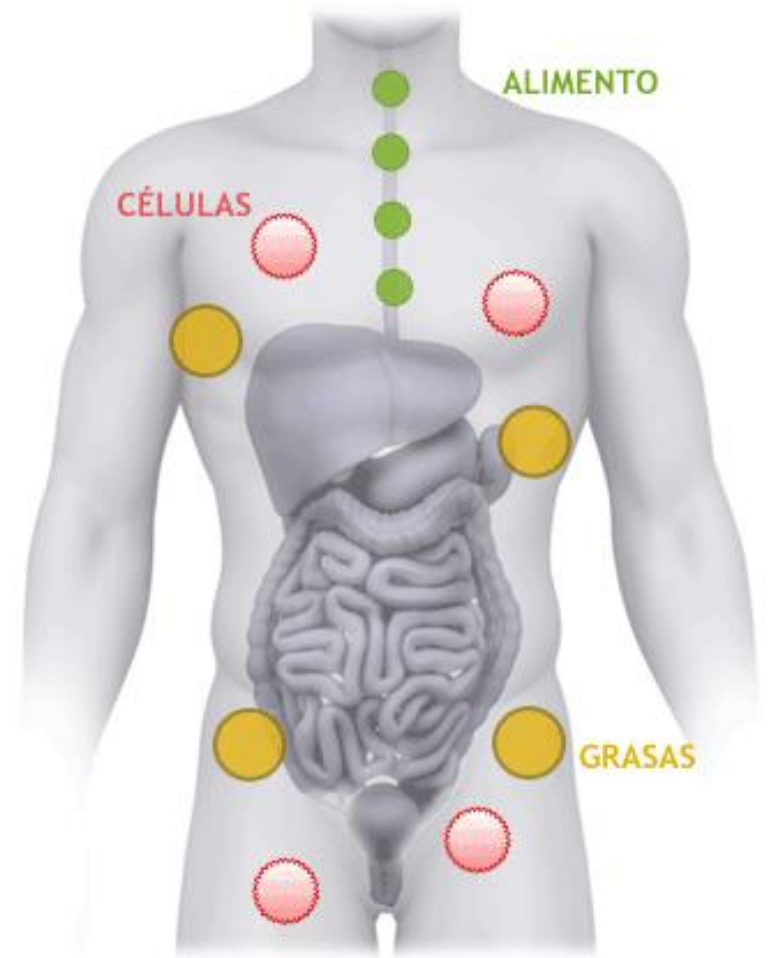


MUSCULO ESQUELETICO

El músculo esquelético
satisface sus demandas
energéticas durante el
ejercicio a través de
sustratos que

Proviene de:

- 1. Reservas** del organismo
- 2. Ingesta** diaria de nutrientes.



La energía necesaria para que el músculo esquelético pueda desarrollar adecuadamente su función se obtiene de:



CARBOHIDRATOS

Son la mejor fuente de energía para el crecimiento, el mantenimiento y la actividad física y mental.



GRASAS

Proporcionan energía y forman bajo la piel una capa de tejido que conserva el calor del cuerpo.



FIBRA

Produce heces abundantes y blandas. Combate el estreñimiento y las enfermedades intestinales.



PROTEÍNAS

Son la materia prima de las células y tejidos, y producen hormonas y otras sustancias químicas activas.



VITAMINAS

Regulan los procesos químicos del cuerpo y ayudan a convertir las grasas en energía.



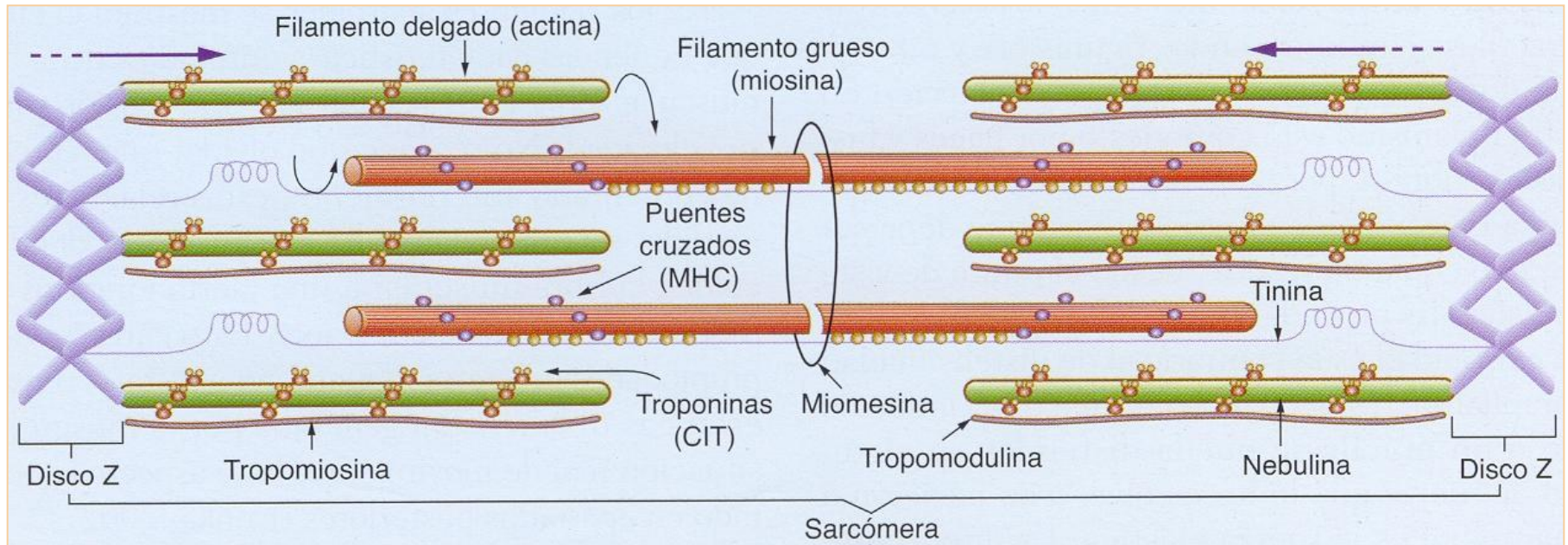
MINERALES

Ayudan a construir los huesos y controlan el equilibrio líquido y las secreciones glandulares.

@ Los sustratos ceden la energía contenida en sus enlaces químicos para la fosforilación del ATP.

@ La célula muscular solo es capaz de obtener directamente la energía química del ATP para transformarla en energía mecánica.

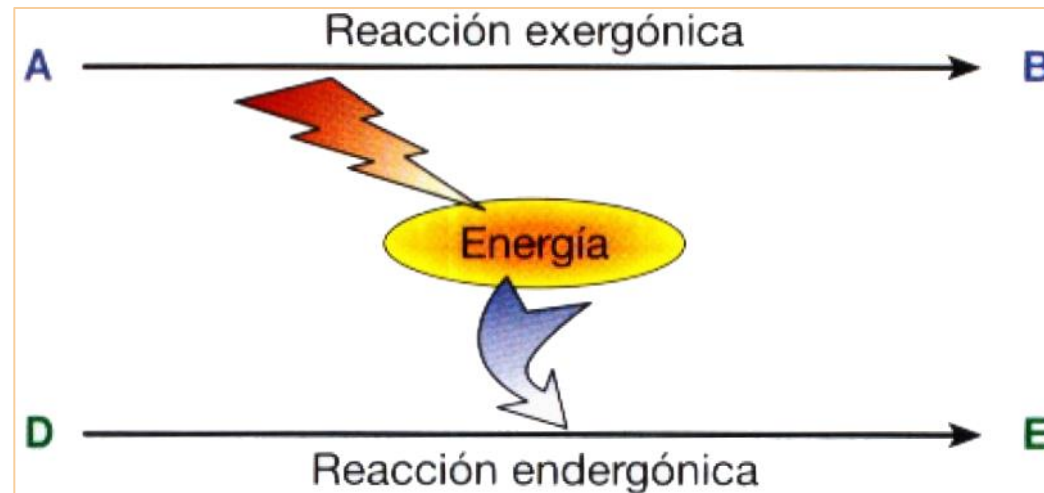
El músculo utiliza el ATP (energía) para la realización de cambios conformacionales de su estructura molecular => variación en la longitud del sarcómero



SISTEMAS ENERGETICOS

@ La célula muscular dispone de tres mecanismos para resintetizar el ATP.

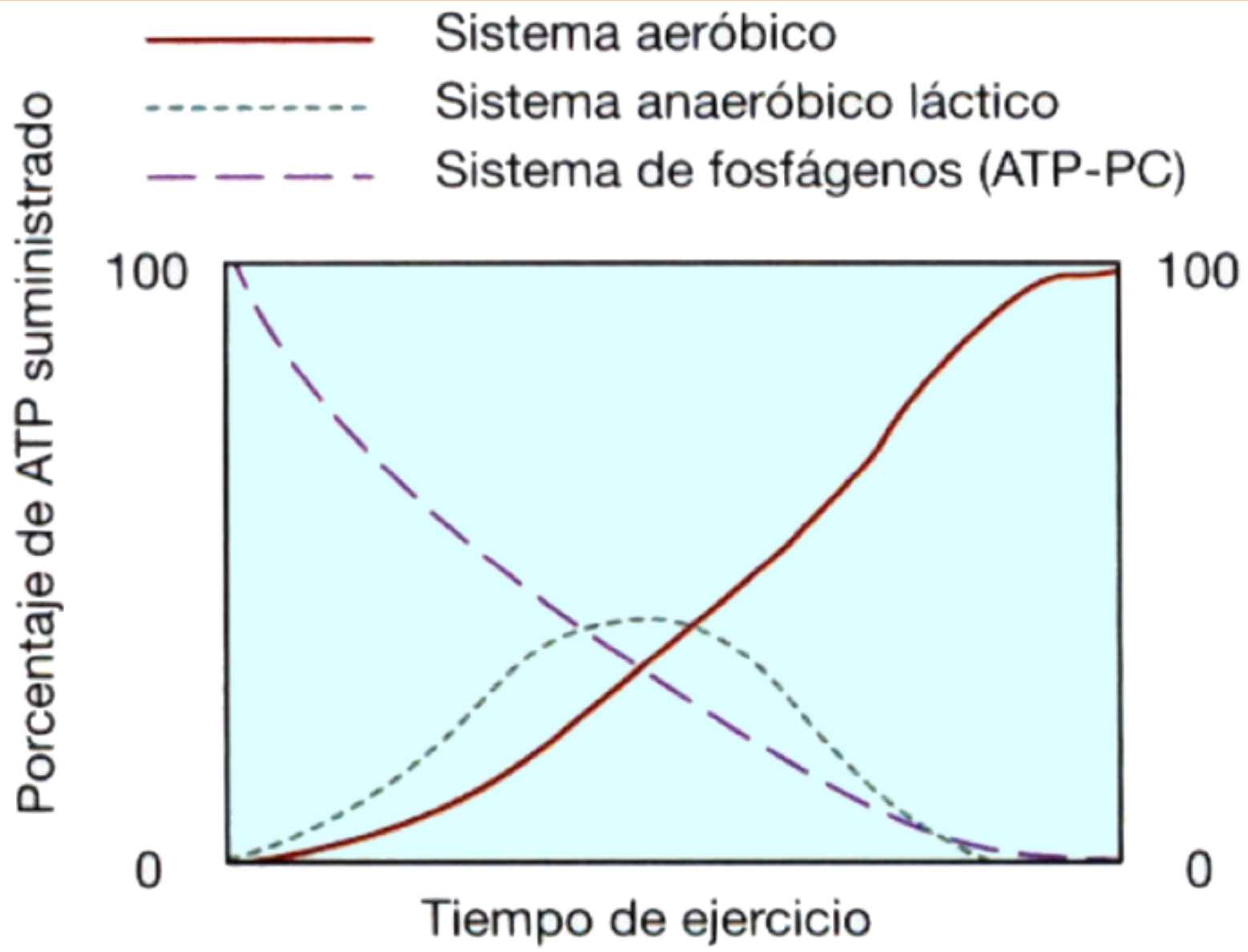
@ Son procesos exergónicos que liberan la energía necesaria para conseguir sintetizar ATP a partir del adenosin difosfato (ADP).



@ Síntesis del ATP a través de la fosfocreatina:
ANAEROBICA ALACTICA

@ Proceso de glucólisis anaeróbica con la transformación del glucógeno muscular en lactato: **GLUCOLITICA ANAEROBICA**

@ A partir de la fosforilación oxidativa:
AEROBICA U OXIDATIVA



@El metabolismo muscular puede ser aeróbico o anaeróbico. El músculo decide que tipo de sistema utilizar en función de diversos factores, entre los que se destacan la intensidad y la duración del ejercicio.

@Generalmente se presenta un metabolismo mixto en el que predomina un sistema en función de las circunstancias

@ Los sistemas energéticos en función del tipo de sustrato utilizado se pueden clasificar en:

- @ Metabolismo de los fosfágenos (sustratos de ATP y fosfocreatina)
- @ Metabolismo de los hidratos de carbono
- @ Metabolismo de las grasas
- @ Metabolismo de las proteínas

Tabla 1
Sistemas de producción de ATP

Anaeróbicos		Aeróbicos
Aláctico	ATP Fosfocreatina	
Láctico	Hidratos de carbono	
		Grasas Proteínas

El ATP y la FOSFOCREATINA pertenece al llamado grupo de fosfatos de alta energía, formado también por otros compuestos equivalentes desde un punto de vista energético; entre ellos figuran:

- El **GTP** (guanosíntrifosfato),
- El **UTP** (uridíntrifosfato),
- El **ADP** (adenosíndifosfato),
- El **AMP** (adenosínmonofosfato),

El **ATP** es el que más utilizado para el trabajo celular de nuestro organismo.

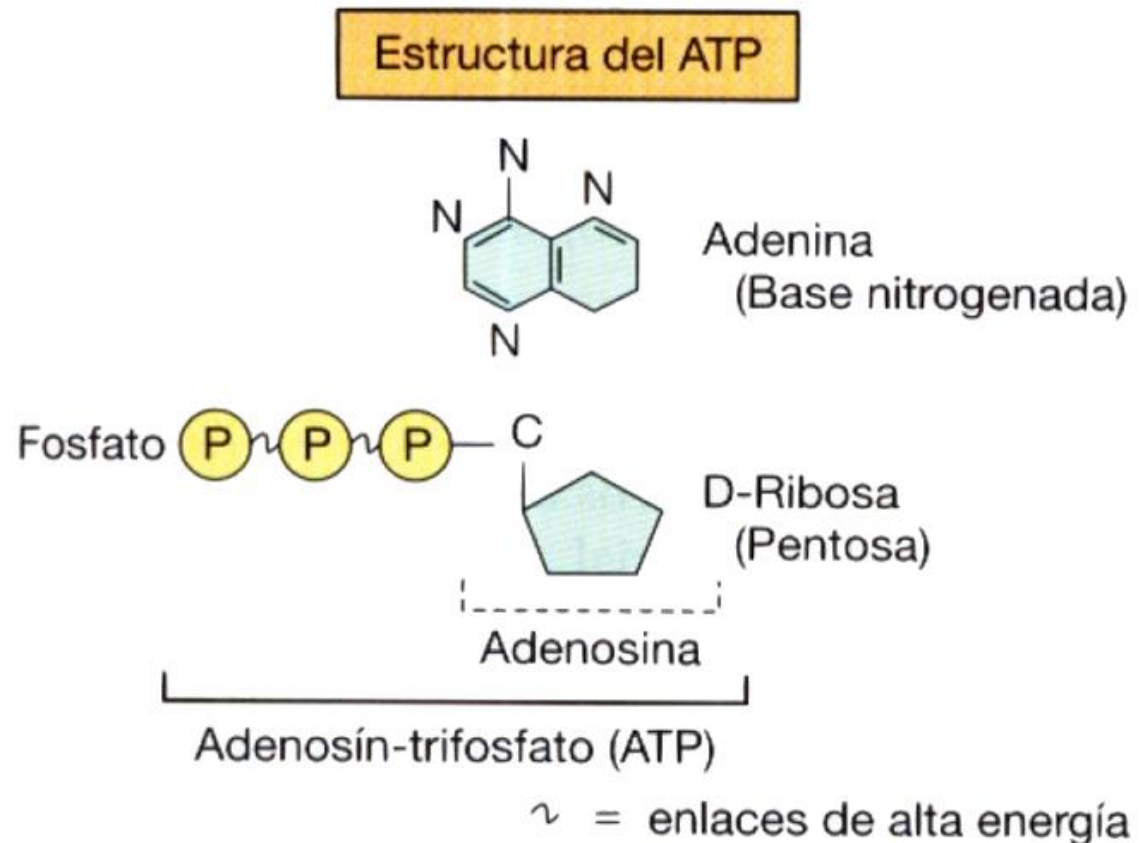
METABOLISMO DE LOS FOSFAGENOS

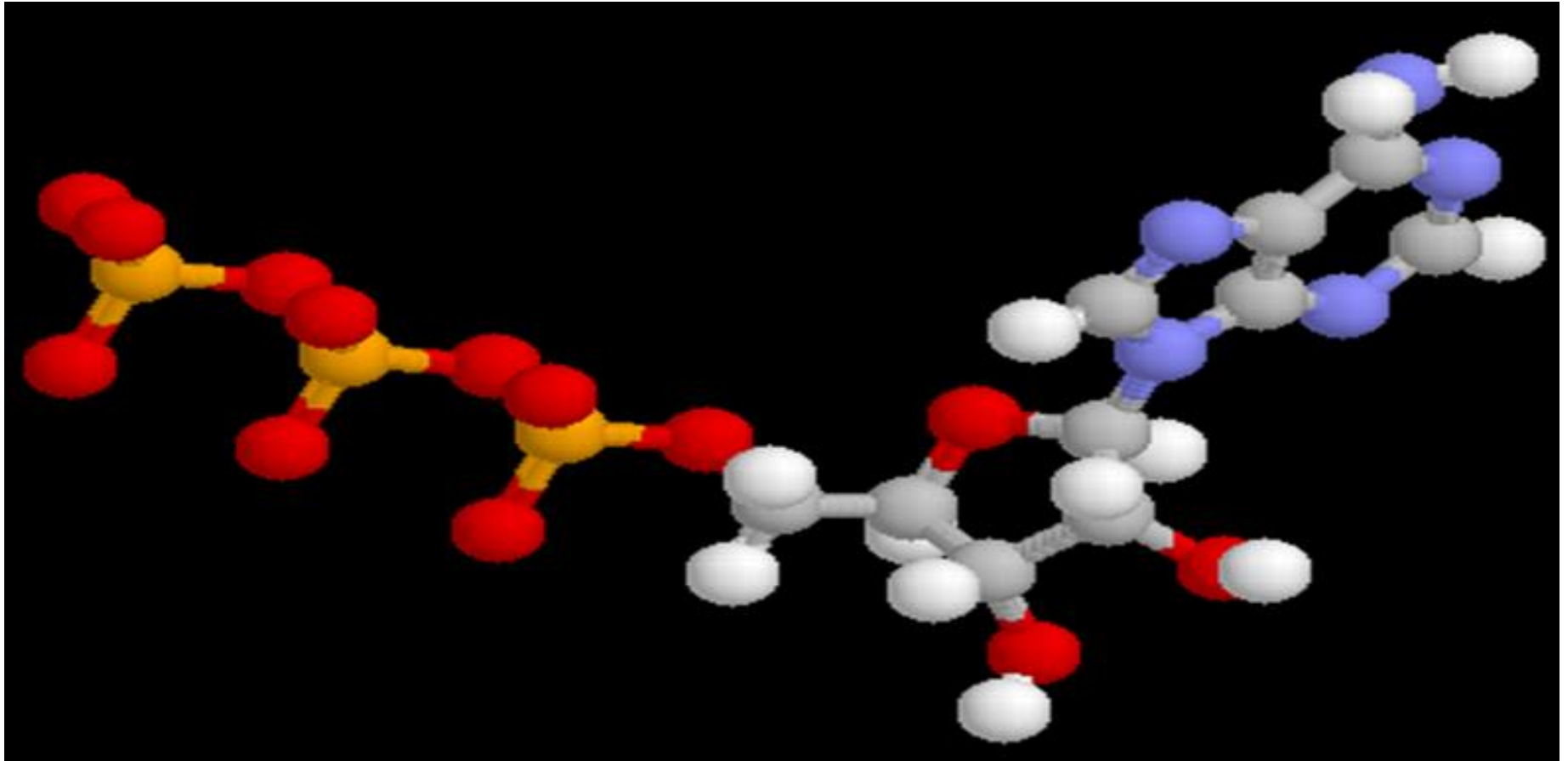
@Los fosfágenos proporcionan la energía necesaria para la contracción muscular al inicio de la actividad y durante ejercicios explosivos, muy breves y de elevada intensidad

ADENOSÍN TRIFOSFATO

@Es la fuente de energía mas rápida o inmediata.

@La estructura del ATP está formada por una base nitrogenada (adenina), un monosacárido de 5 átomos de carbono (ribosa), y tres grupos fosfato





EI ATP (adenosíntrifosfato)

- ⌚ En la célula el ATP está cargado negativamente y los fosfatos terminales de cada molécula de ATP se asocian a un ión de magnesio (Mg^{++})
- ⌚ El proceso inmediato para la conversión de energía química en estática está catalizado por la enzima ATPasa y acopla la hidrólisis del ATP a la contracción muscular.



@Las reservas de **ATP** en la célula muscular son pequeñas.

La energía liberada en la célula muscular por la hidrólisis del ATP varía con las condiciones de temperatura y pH.

En músculo esquelético las reservas son de 5×10^{-6} mol/gr

FOSFOCREATINA

@El ATP tiene que ser resintetizado constantemente en las células, ya que se encuentra en concentraciones muy pequeñas.

@En las células musculares parte de este ATP se resintetiza gracias a la energía proporcionada por otro fosfógeno denominado **FOSFOCREATINA.**

⌚ Consiste en la transferencia de energía desde la fosfocreatina al **ADP** para que este pueda reincorporar un grupo fosfato a su molécula y transformarse en **ATP**.

⌚ De manera que la energía que se ha liberado en la hidrólisis de la PCr es directamente utilizada para resintetizar **ATP** a partir del **ADP**.



@ La concentración celular de la **PCr** es de tres a cinco veces superior a la de **ATP**.

@ En las fibras musculares tipo I, la concentración de **PCr** es ligeramente más baja que en las tipo II (entre 15 y 20%)

@ A diferencia de lo que ocurre con el **ATP**, la fosfocreatina experimenta un marcado descenso en su concentración durante el ejercicio.

Nuevos Galácticos
Han Llegado al
REAL MADRID



METABOLISMO DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

- ⌚ Los hidratos de carbono como la glucosa permiten la posibilidad de obtener energía tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas.
- ⌚ El proceso por el cual las células obtienen energía de la glucosa en condiciones anaeróbicas se denomina **GLUCOLISIS**.
- ⌚ La obtención mayoritaria de energía se produce en el proceso de

FOSFORILACION OXIDATIVA

ABSORCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

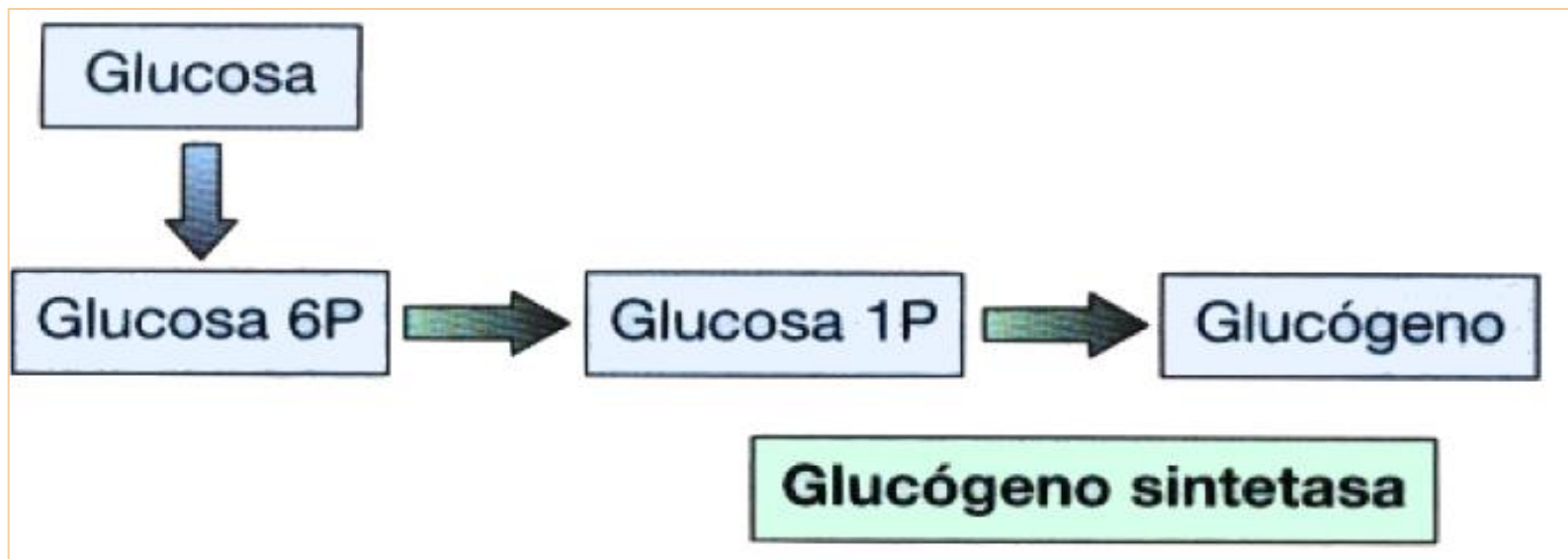
- @ Los hidratos de carbono se absorben en forma de monosacáridos en las células intestinales.
- @ La mayor parte son transformados en glucosa y en menor cantidad en fructosa.
- @ La glucosa además de ser una fuente energética sirve de esqueleto para la síntesis de los aminoácidos.

🌀 Cuando la glucosa atraviesa la membrana celular, inmediatamente experimenta una fosforilación transformándose en **glucosa-6-fosfato**



@Si la célula no necesita en ese momento utilizar la glucosa que le llega, la glucosa-6-P se isomeriza a glucosa-1-P, la cual se almacenará en la célula como un polímero de glucógeno por acción de la glucógeno sintetasa. A este proceso se le denomina

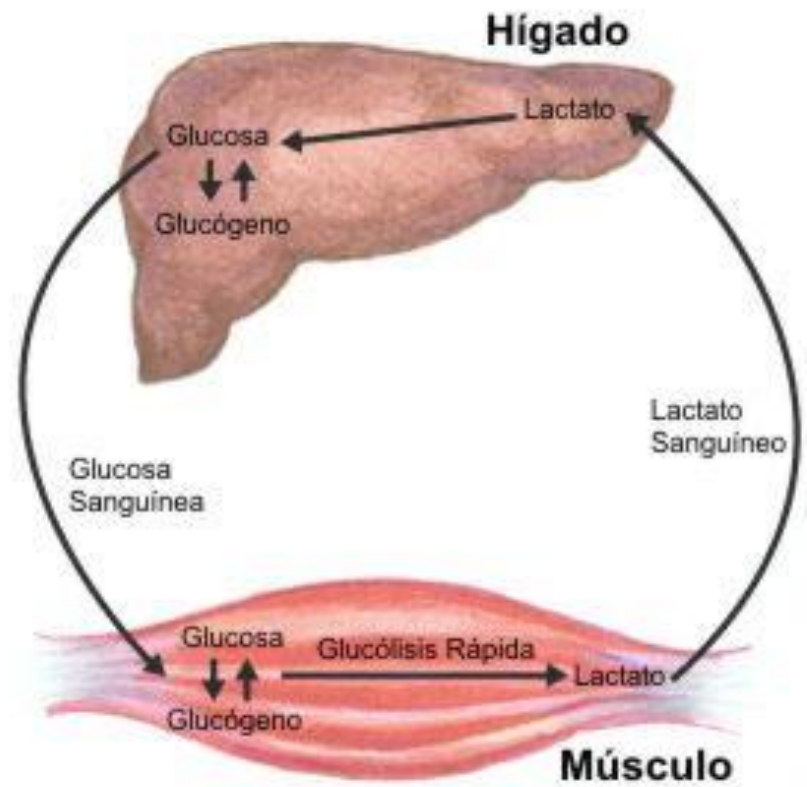
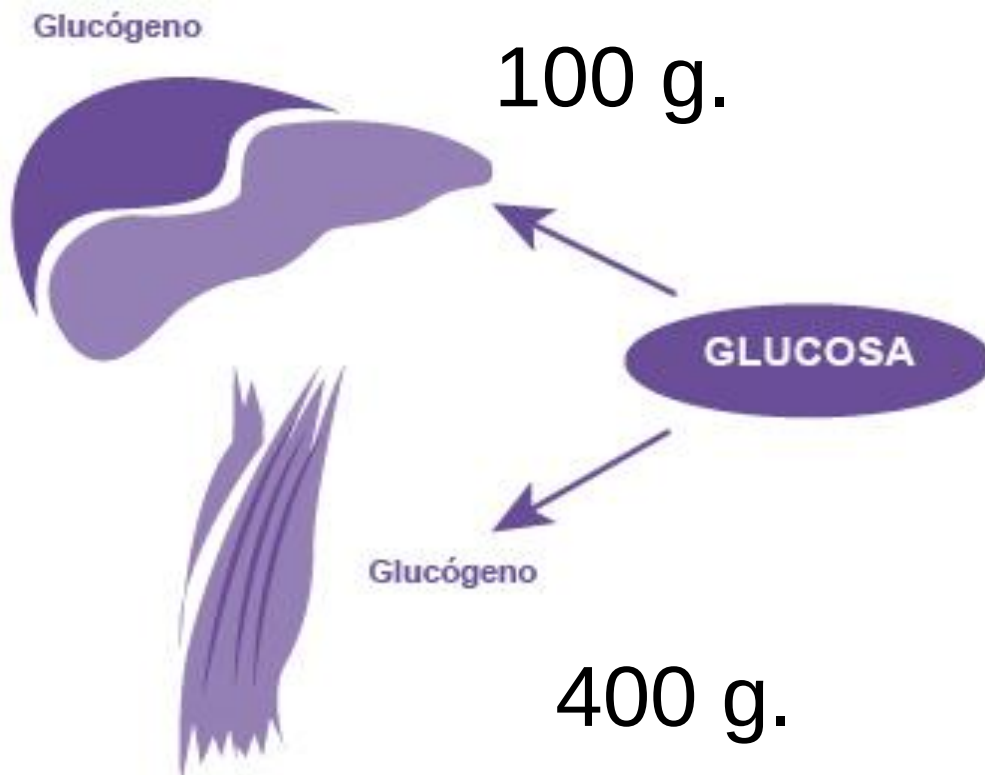
GLUCOGENOGENESIS



@En hígado son almacenados aproximadamente 100g de glucógeno para un sujeto con talla y peso medio.

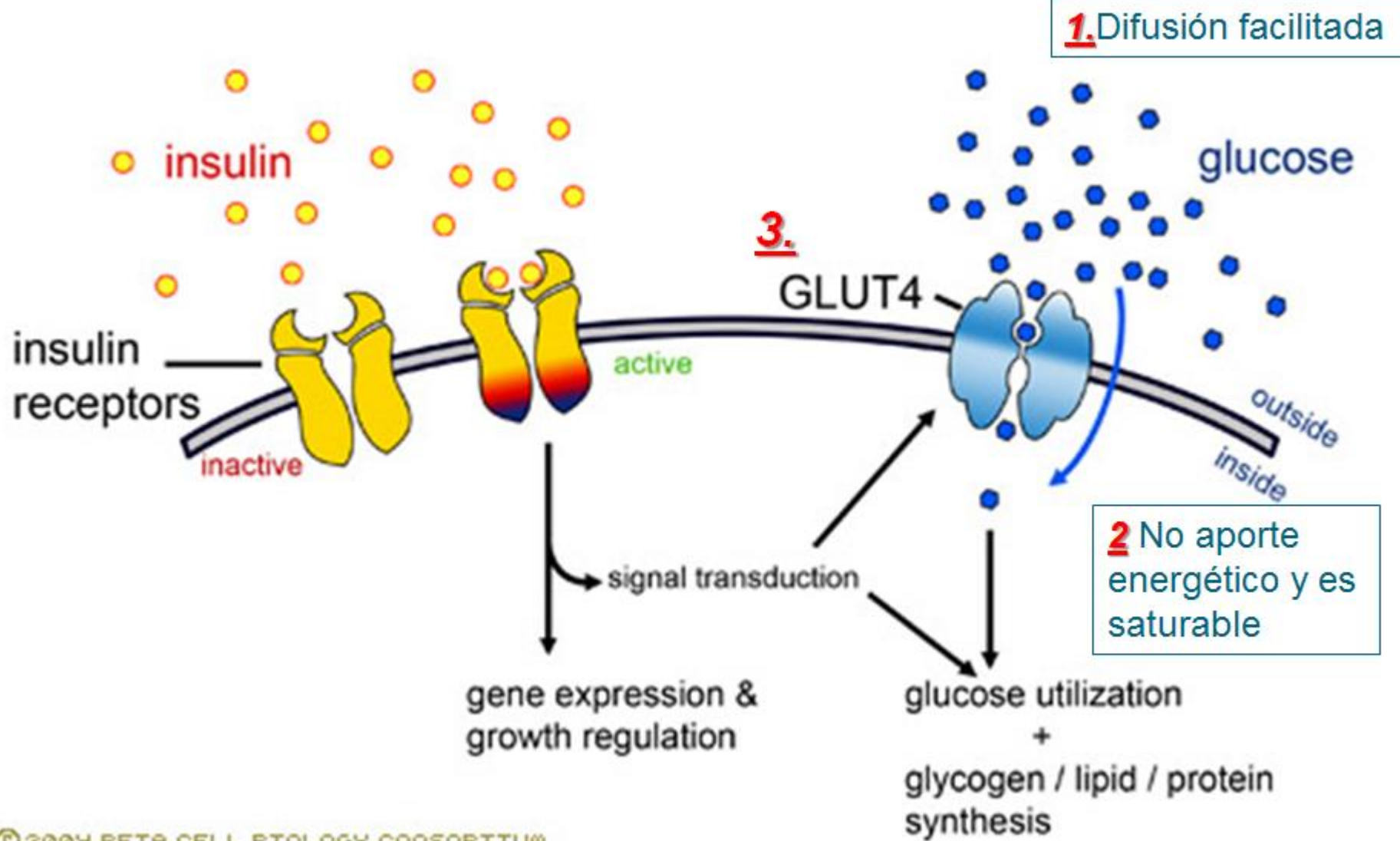
@El glucógeno muscular suministra glucosa a la propia célula muscular en la que se encuentra. La glucosa no puede abandonar la célula muscular.

@La cantidad de glucógeno muscular es de 350-400g en total.

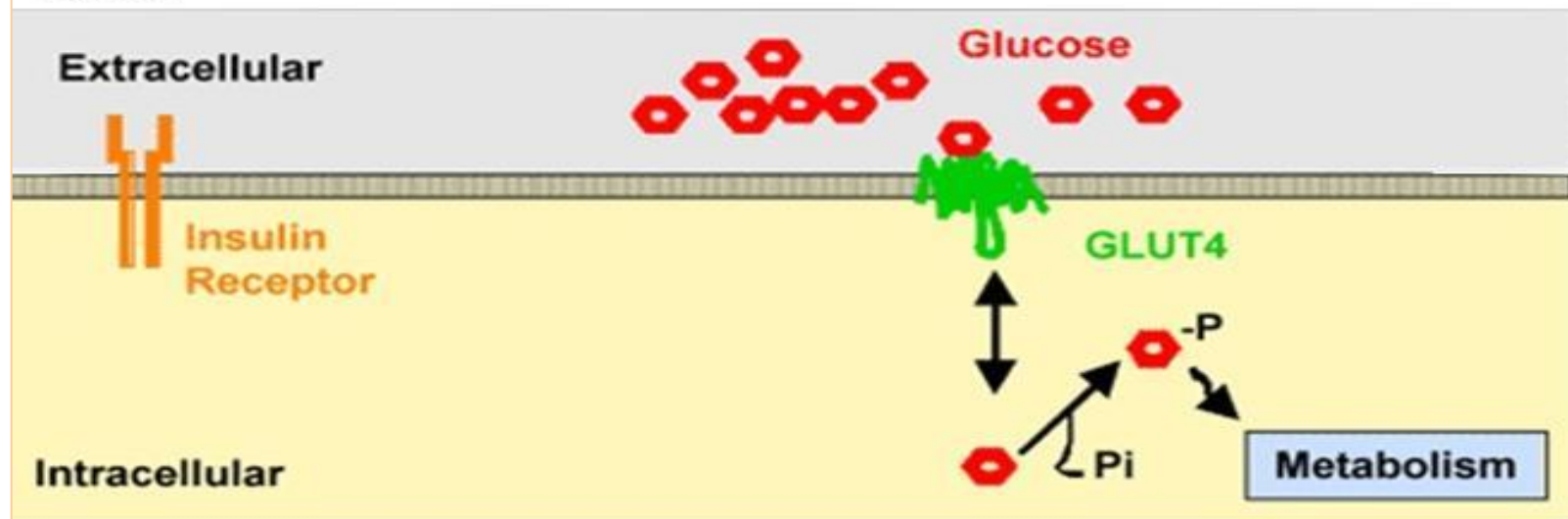


TRANSPORTADORES CELULARES DE GLUCOSA (GLUT 4)

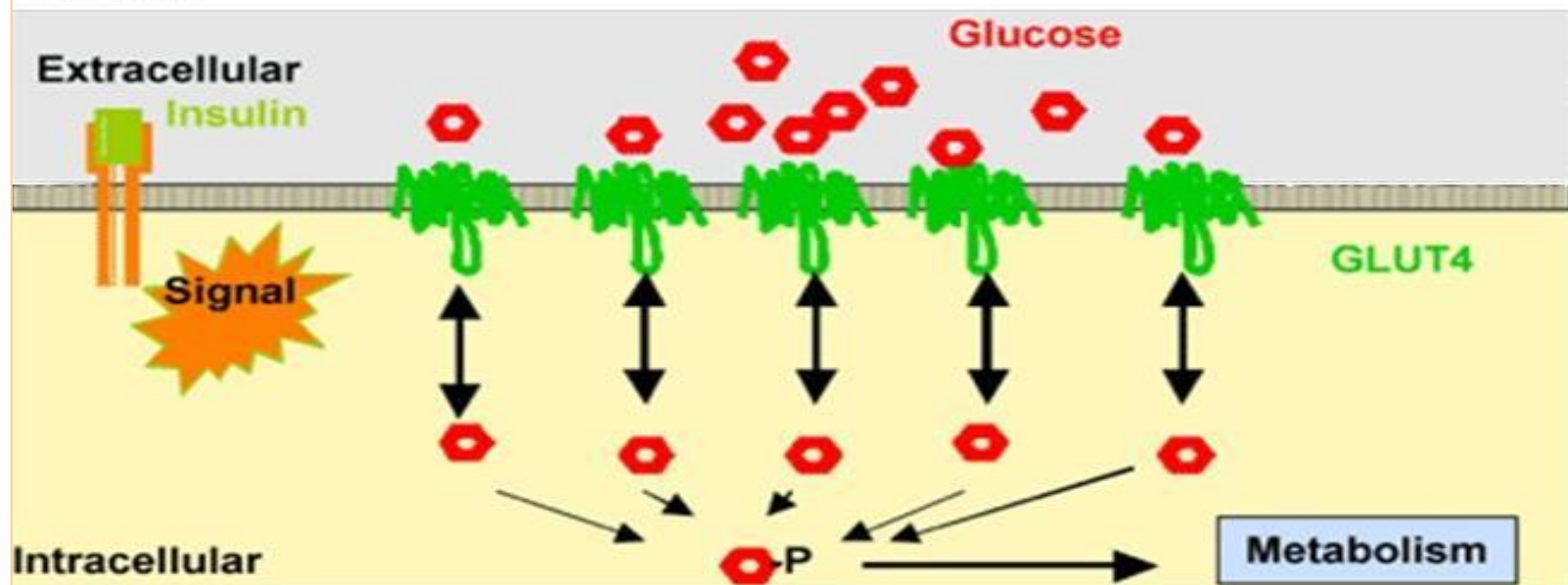
- ⌚ Existen transportadores en diferentes células denominados en forma global como GLUT.
- ⌚ En células musculares se denominan GLUT-4
- ⌚ Se activan en:
 1. Presencia de insulina
 2. Cuando se eleva la concentración de calcio
- ⌚ El entrenamiento de resistencia aumenta la concentración de GLUT-4 en las células musculares, aumentando la capacidad oxidativa.



Basal



Insulin



MOVILIZACIÓN Y UTILIZACIÓN DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

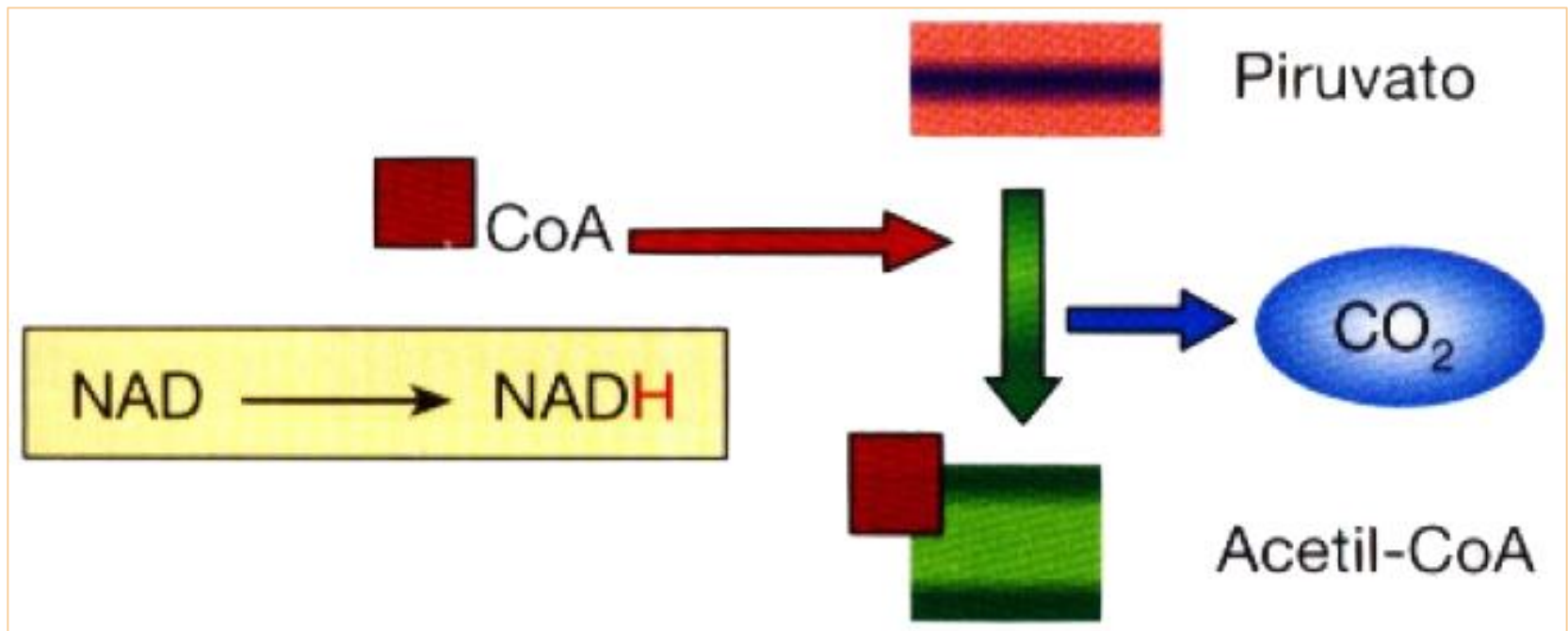
@ Cuando pasamos de una situación de reposo a una de ejercicio, la glucosa almacenada tiene que ser movilizada para poder resintetizar el ATP que se va movilizandando en la contracción muscular: ***glucogenólisis***.

@ El proceso está regulado por la **fosforilasa**

GLUCÓLISIS ANAERÓBICA: VÍA DE EMBDEN-MEYERHOF

- ④ Las fuentes de glucosa para la célula muscular son dos:
 1. La que procede del glucógeno almacenado (en este caso ya fosforilada)
 2. La que entra directamente de la glucosa circulante.

@ Cuando la mitocondria es capaz de oxidar los H^+ producidos en el citoplasma, el piruvato atraviesa la membrana mitocondrial y se transforma en acetilCoA por acción de la piruvato deshidrogenasa, desprendiéndose de CO_2 para continuar su degradación en el ciclo de Krebs.



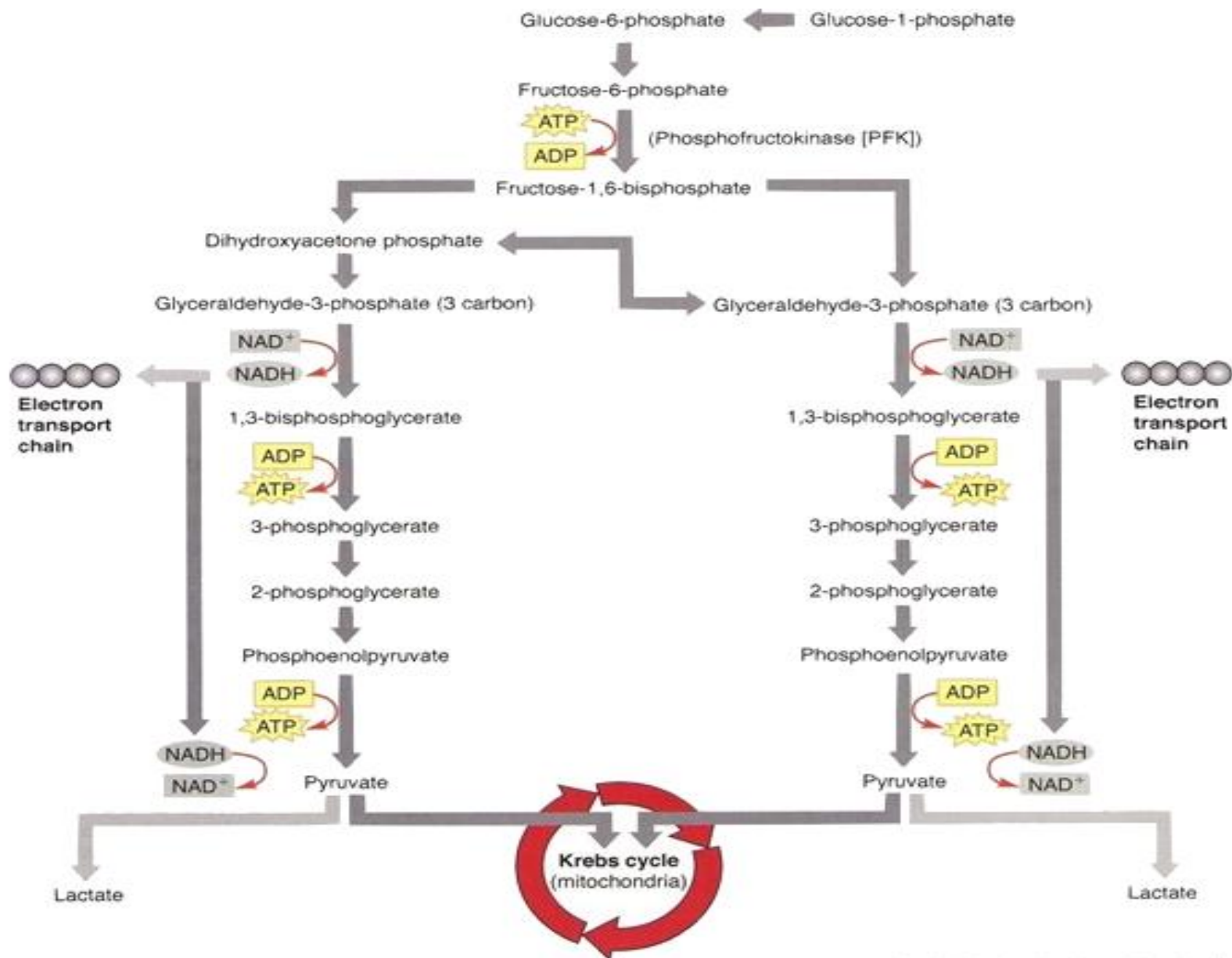


Figure 2.2 Glycolysis. ADP = adenosine diphosphate; ATP = adenosine triphosphate; NAD⁺, NADH = nicotinamide adenine dinucleotide.

Metabolismo aeróbico de Glucosa: Ciclo de Krebs y fosforilación oxidativa

Podemos separar las fases de este metabolismo en 4, teniendo presente que los 3 últimos procesos metabólicos son mitocondriales:

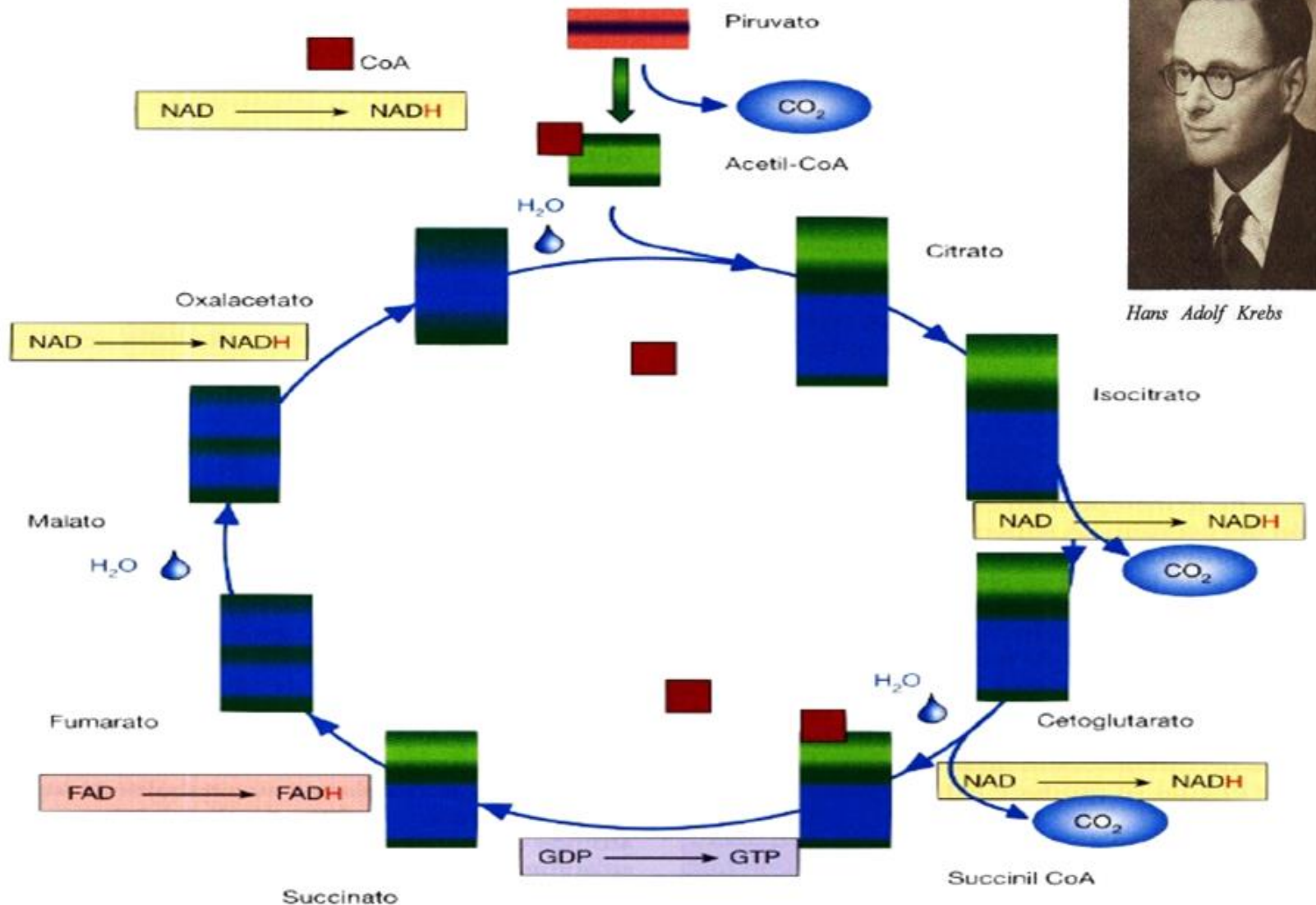
1. Glucólisis.
2. Transformación de piruvato en acetil coenzima A (acetil CoA).
3. Entrada del acetil CoA en el ciclo de Krebs para su degradación.
4. Fosforilación oxidativa.

Transformación de Piruvato en Acetil-CoA

El piruvato atraviesa la membrana mitocondrial por la acción del complejo enzimático *piruvato deshidrogenasa* *PDH, situado en la membrana intermitocondrial que lo transforma de forma esencialmente irreversible en acetil CoA.



Ciclo de Krebs

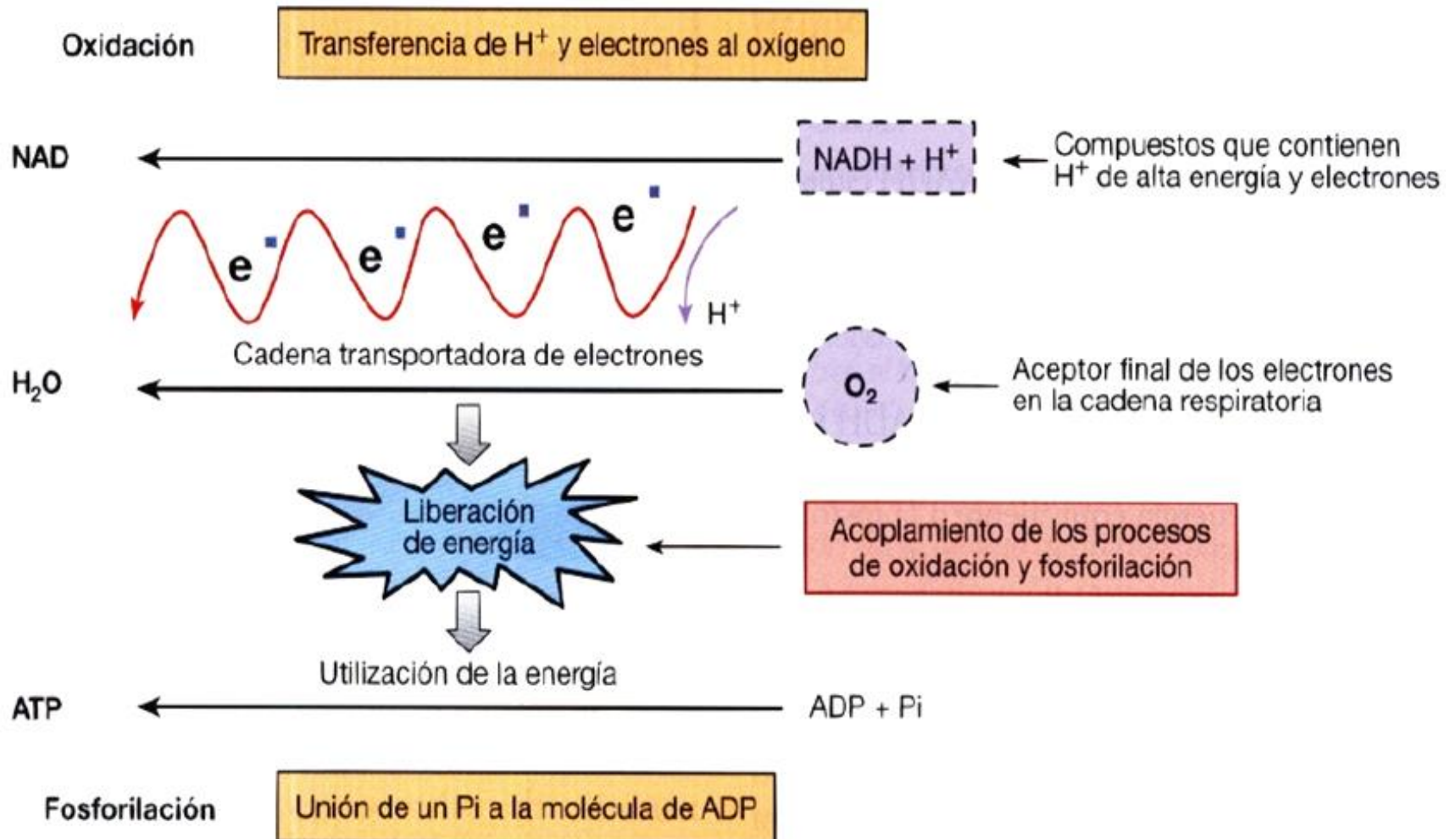


Fosforilación Oxidativa

Es un concepto bioquímico que se refiere a dos procesos que se acoplan en el interior de la mitocondria:

1. Un proceso de **oxidación** en el cual el oxígeno es el aceptor final de los electrones que se liberan de los átomos de hidrógeno obtenidos de los nutrientes a lo largo de los diferentes procesos.
2. Un proceso de **fosforilación** por el cual se incorpora un grupo fosfato al ADP para resintetizar el ATP.

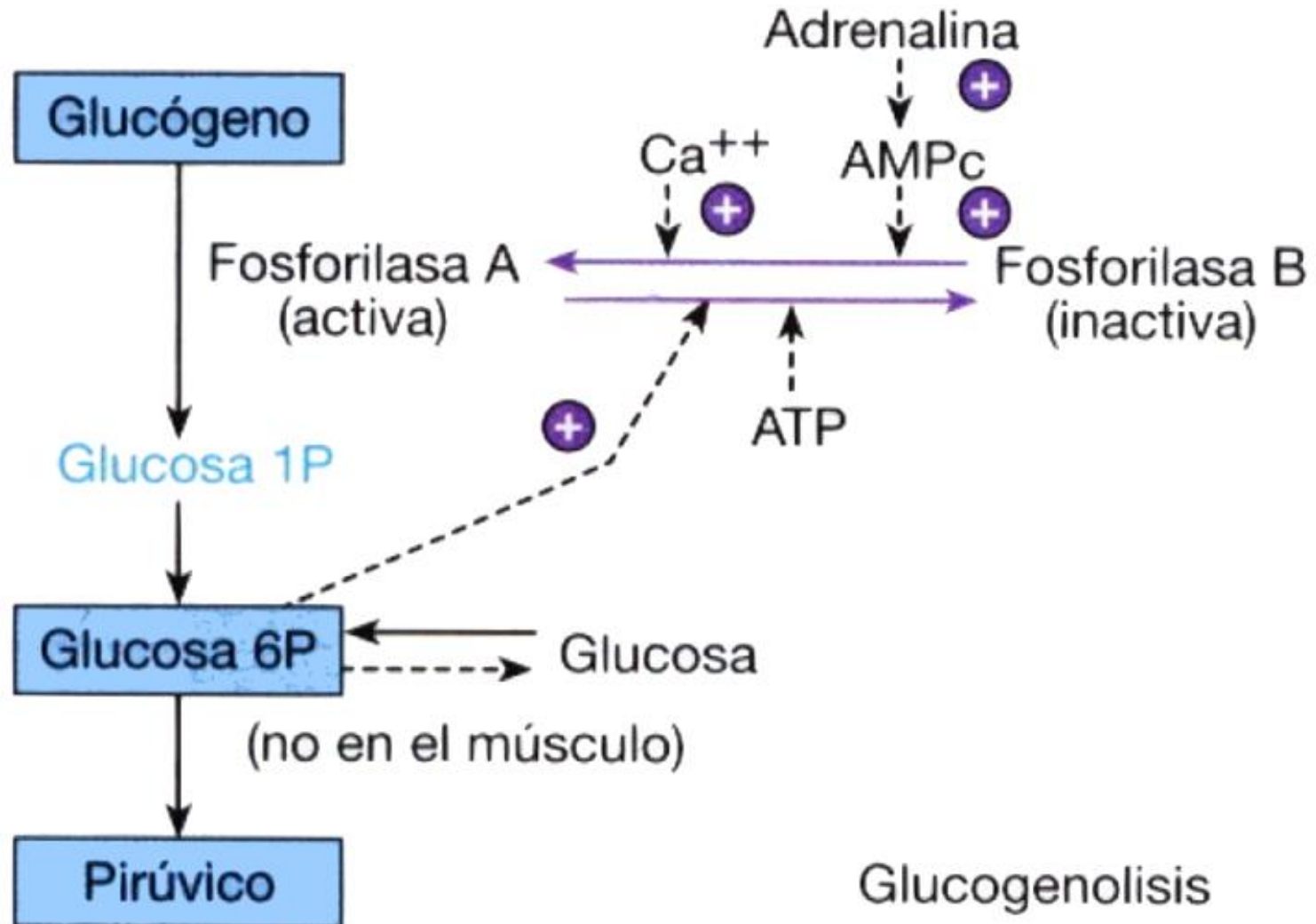
Oxidación-fosforilación en la mitocondria muscular



Glucogenólisis

- ⌚ Proceso metabólico por el cual se van desprendiendo moléculas de glucosa del polímero glucógeno para ponerlas a disposición de las necesidades celulares.
- ⌚ En el caso de la célula muscular, la glucosa entrará en el proceso de la glucólisis para obtención de energía, dependiente de la *fosforilasa* (regulada por adrenalina y Ca^{++} citoplasmático).

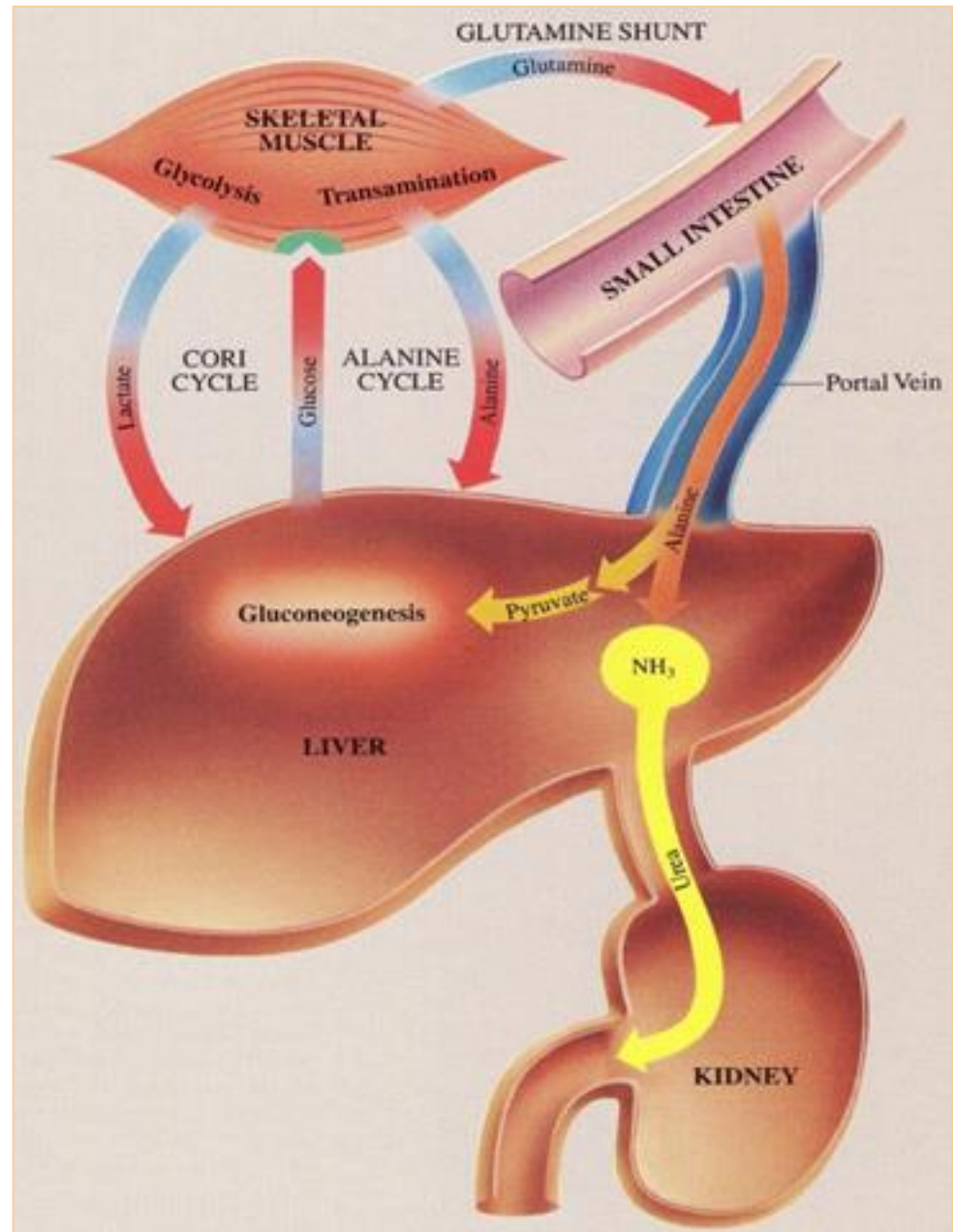
Esquema general de la Glucogenólisis en la célula muscular



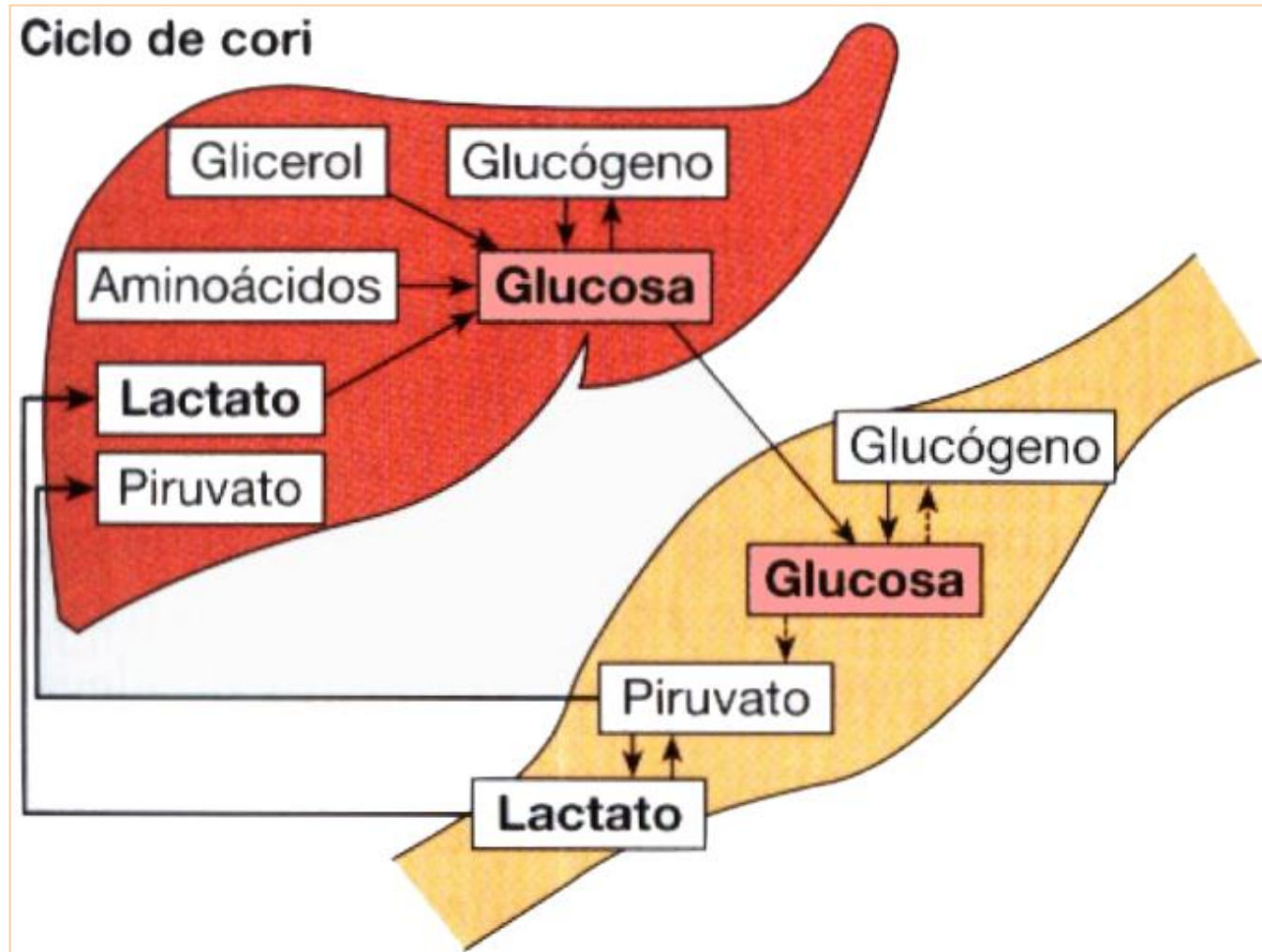
Gluconeogénesis y Glucogénesis

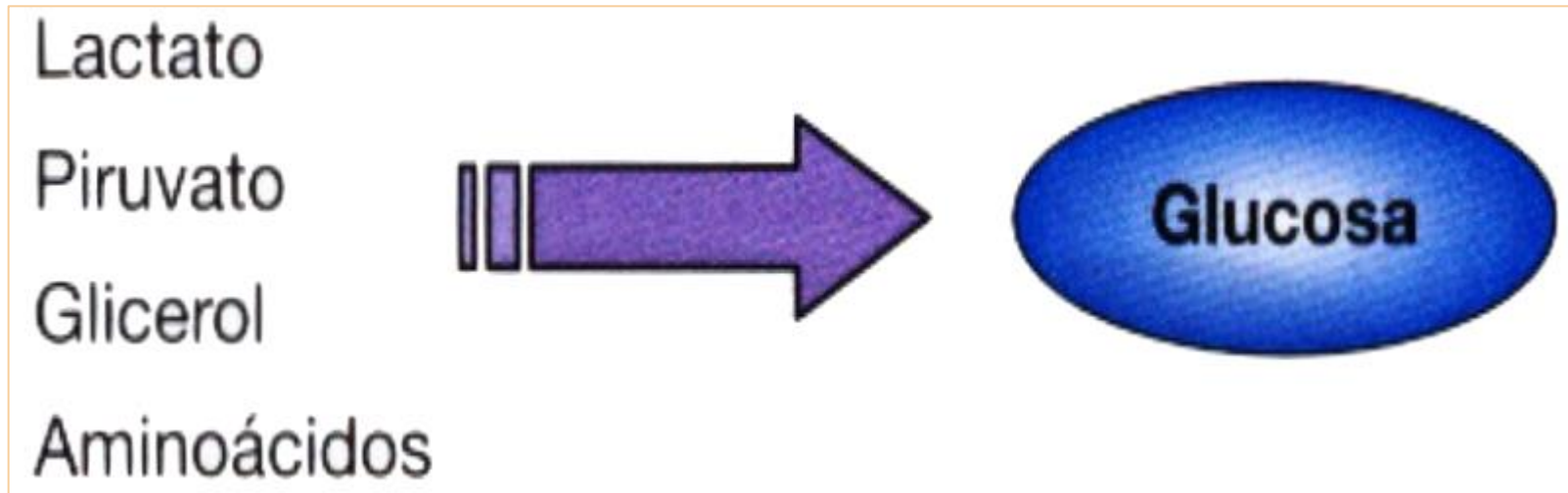
- ⌚ Son procesos de síntesis de glucosa a partir de diferentes sustratos.
- ⌚ La ***gluconeogénesis*** es la síntesis de glucosa utilizando aminoácidos (fundamentalmente alanina) y lactato (ciclo de Cori), mientras que si obtenemos la glucosa a partir de piruvato, se denomina ***glucogénesis***.

Gluconeogénesis
hepática a partir
de la Alanina
procedente de la
célula muscular



Utilización hepática del Lactato producido en el músculo para transformarlo en Glucosa



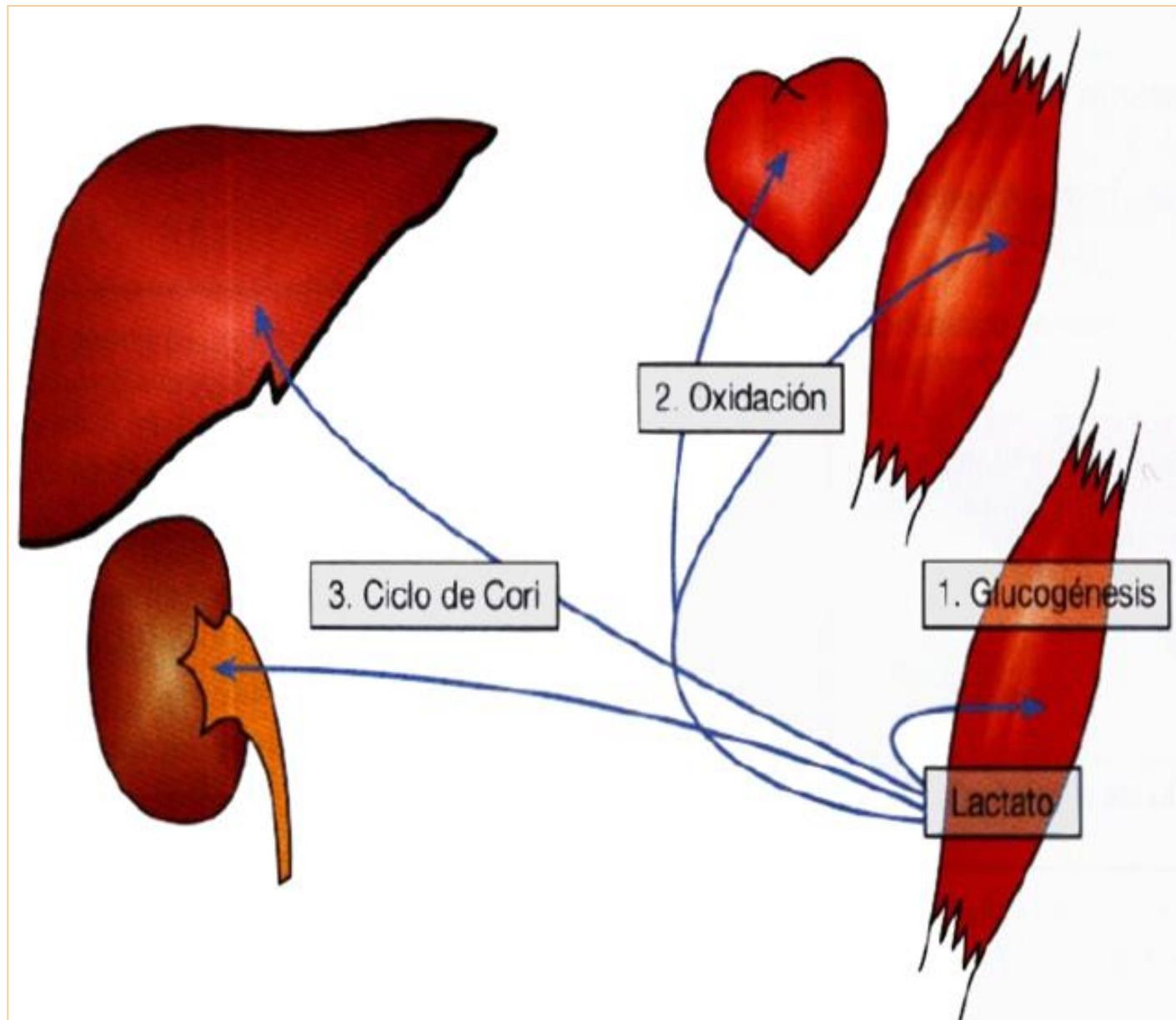


Precursores gluconeogénicos: La síntesis de glucosa es posible a partir de diferentes compuestos carbonados. La glucogénesis tiene lugar fundamentalmente en el hepatocito, si bien el lactato puede transformarse en glucosa en la célula muscular.

Metabolismo del Lactato durante el ejercicio (destinos)(*fig*):

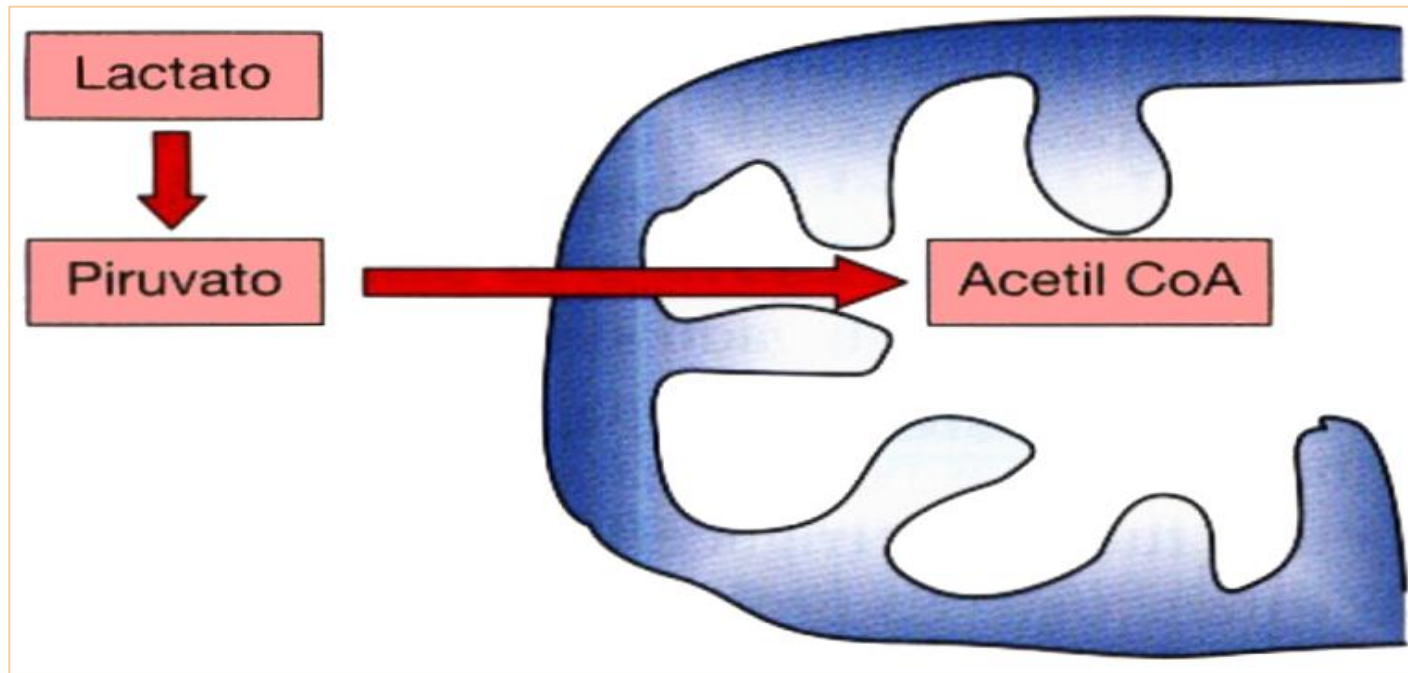
1. Actuar como factor gluconeogénico en el músculo.
2. Ser oxidado en diferentes tejidos, principalmente en el músculo esquelético y músculo cardíaco.
3. Ser captado por el hígado y/o los riñones para la posterior síntesis de glucógeno hepático en el ciclo de Cori.

El 80-90% del lactato es utilizado para resíntesis de glucógeno u oxidación mitocondrial, el otro 10-20% como sustrato en el ciclo de Cori



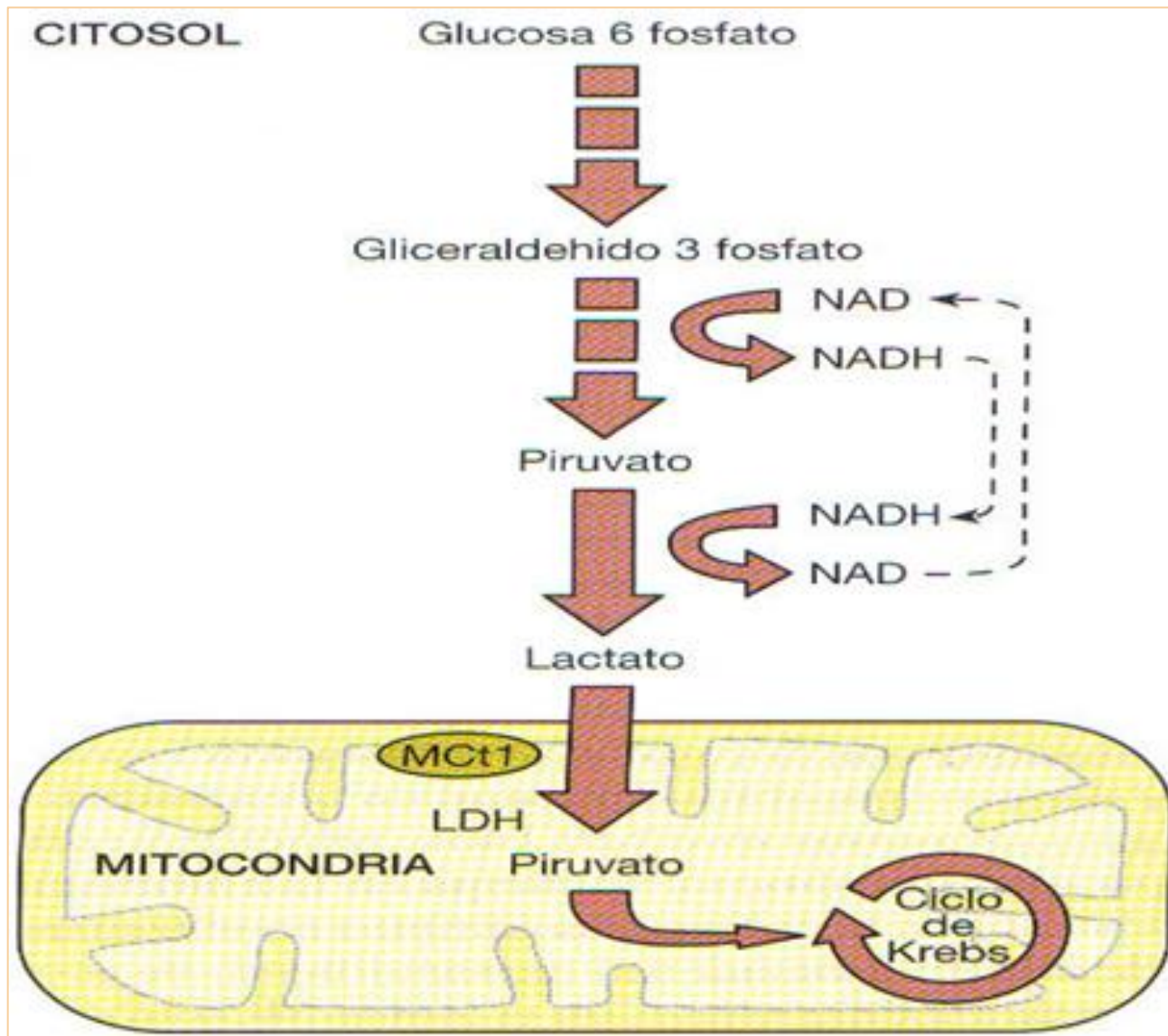
Resíntesis de glucógeno. Gluconeogénesis

- @ La conversión en glucógeno muscular predomina en fibras tipo II
- @ La fracción de La^- que se convierte en glucógeno durante la recuperación depende en gran medida de la concentración de La^- alcanzada en la célula muscular, de manera que cuanto mayor sea ésta, más favorecida se ve la conversión del La^- en glucógeno.
- @ Lo anterior se favorece por la disminución del pH que frena la salida del La^- .



- **Oxidación de lactato:** principal/ en fibras tipo I y miocito cardiaco.
- En reposo se oxida el 50% del La^- sanguíneo, en ejercicio la oxidación sube al 75-80% del La^- sang.
- Mayor si la recuperación es activa

La lanzadera de Lactato





Metabolismo de los lípidos

- ⌚ Los lípidos almacenados en el organismo representan la principal reserva energética y constituyen una fuente casi inacabable de energía durante el ejercicio.
- ⌚ Permiten ahorrar glucógeno muscular y hepático
- ⌚ Los AG que utiliza la célula muscular pueden obtenerse de los triglicéridos almacenados en tejido adiposo o en el propio músculo, y de las lipoproteínas circulantes.

Absorción, distribución y almacenamiento de las grasas en el organismo

- ⌚ Una vez ingeridos, y con ayuda de la bilis, los AG se absorben en intestino delgado y alcanzan la *linfa* recubiertos de una capa proteica proporcionada por los enterocitos dando lugar a los quilomicrones (TGC + Prot).
- ⌚ El hígado sintetiza otro complejo lipoproteico, las *lipoproteínas* que se encargan de distribuir las grasas por el organismo.

Absorción, distribución y almacenamiento de las grasas en el organismo

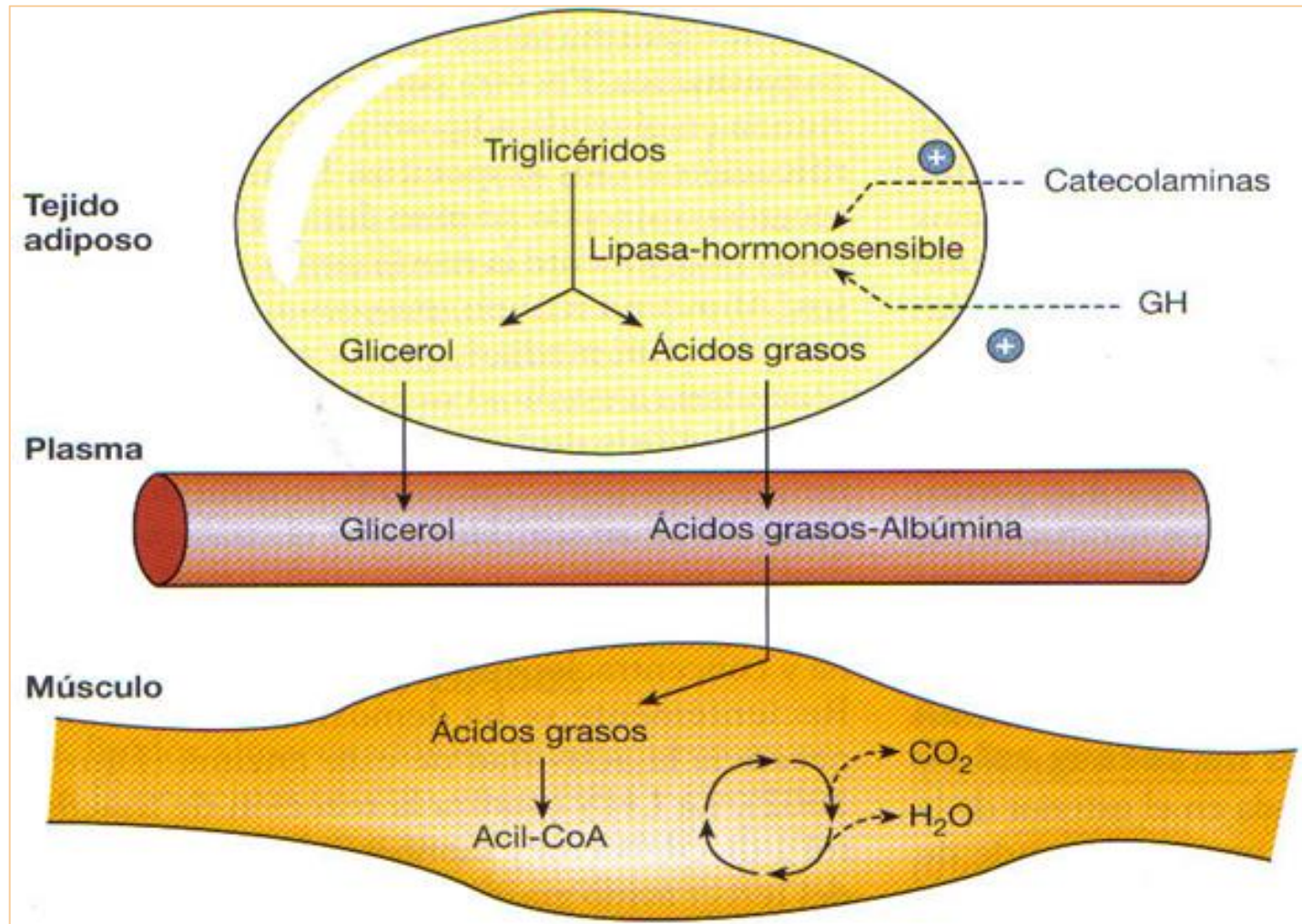
- @ Tanto los quilomicrones como las VLDL circulantes son los responsables de transportar los ácidos grasos (o triglicéridos) al tejido adiposo y a la célula muscular para su almacenamiento.
- @ Dicho proceso se da gracias a la lipoprotein lipasa (LPL) (rompe el complejo proteico para el ingreso del AG); más abundante en tejido adiposo, fibras tipo I, y corazón.
- @ LPL: más activa por niveles de adrenalina y contracción muscular

Lipólisis y movilización de los ácidos grasos durante el ejercicio

Del tejido adiposo a la célula muscular:

- ⌚ Los principales estímulos lipolíticos al inicio del ejercicio en el hombre son el aumento de la concentración de adrenalina y la disminución de la insulina circulante.
- ⌚ La capacidad de movilización depende de la capacidad transportadora de la sangre y del flujo sanguíneo en tejido adiposo

Activación de la lipólisis iniciada por la acción de la lipasa hormonosensible



⌚ **Lipoproteínas circulantes**: Los TAG circulantes contenidos en las VLDL y los quilomicrones, como fuente de energía durante el ejercicio, son poco importantes. Solo el ejercicio intenso reduce sus niveles.

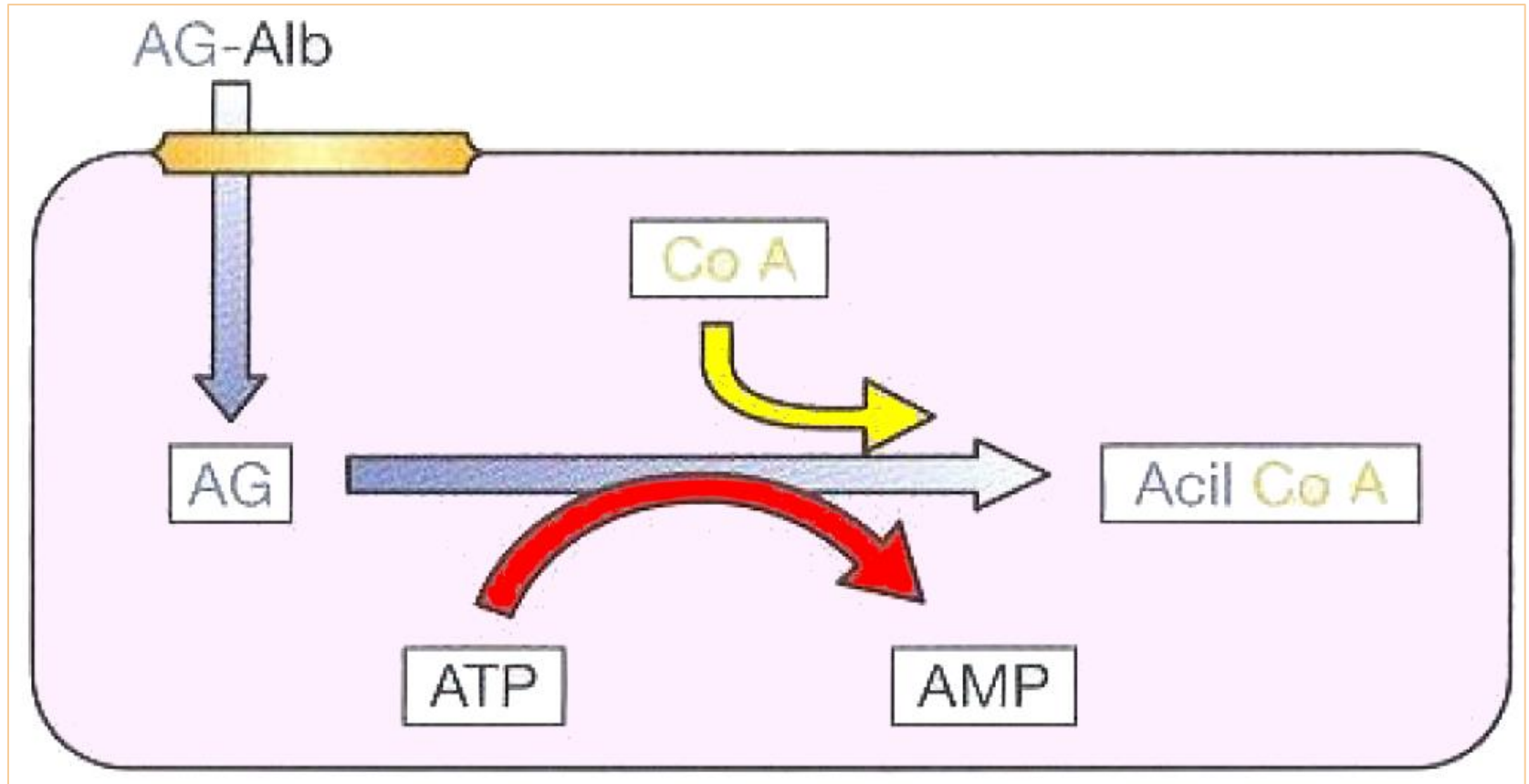
⌚ **Triglicéridos intramusculares**: Aproximadamente la mitad de los AG oxidados en el músculo durante el ejercicio procede de AG circulantes, mientras que la otra mitad procede de los TAG almacenados en la propia célula muscular.

Activación y oxidación de los lípidos en la célula muscular

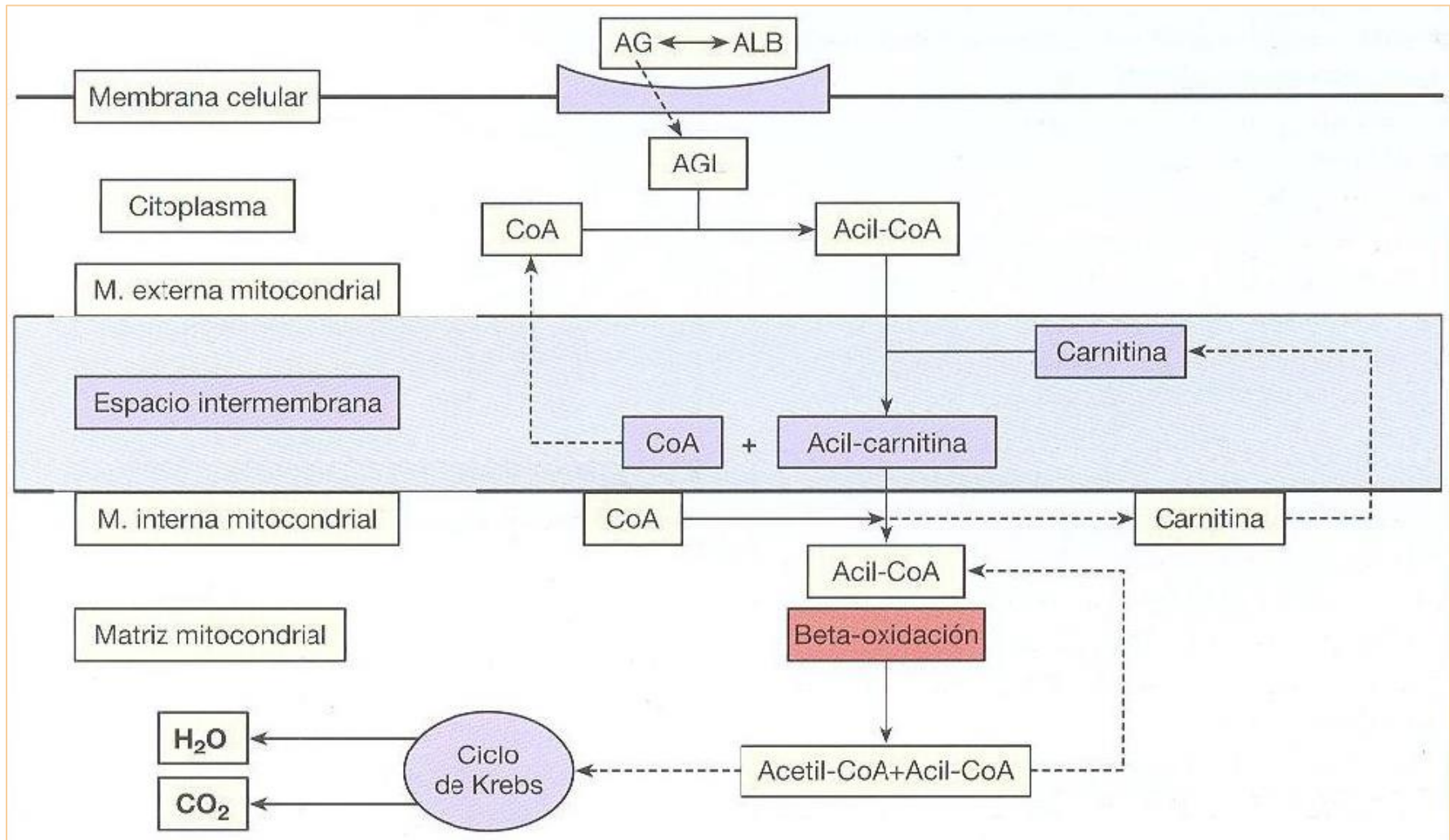
Ⓢ Una vez en el interior del miocito y antes de ser oxidados, experimentan un proceso de activación por el cual elevan su nivel energético para posteriormente ceder su energía. Esto ocurre en el sarcoplasma (*ver fig.*)

Activación de los grupos Acil una vez introducidos en la célula muscular.

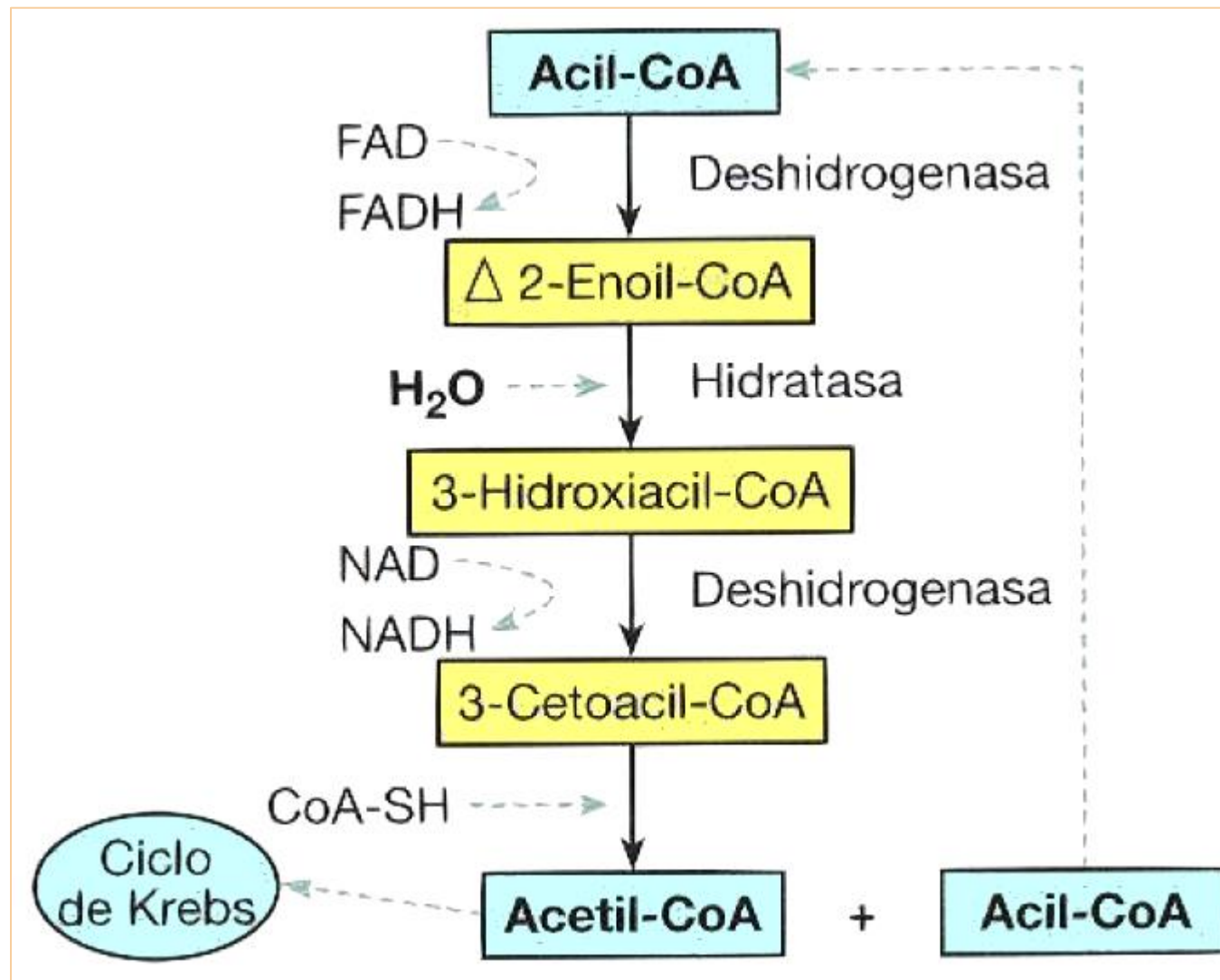
El gasto energético de esta activación equivale a la fosforilación de dos ADP



Utilización de los ácidos grasos por la célula muscular. Papel de la carnitina en el metabolismo lipídico.



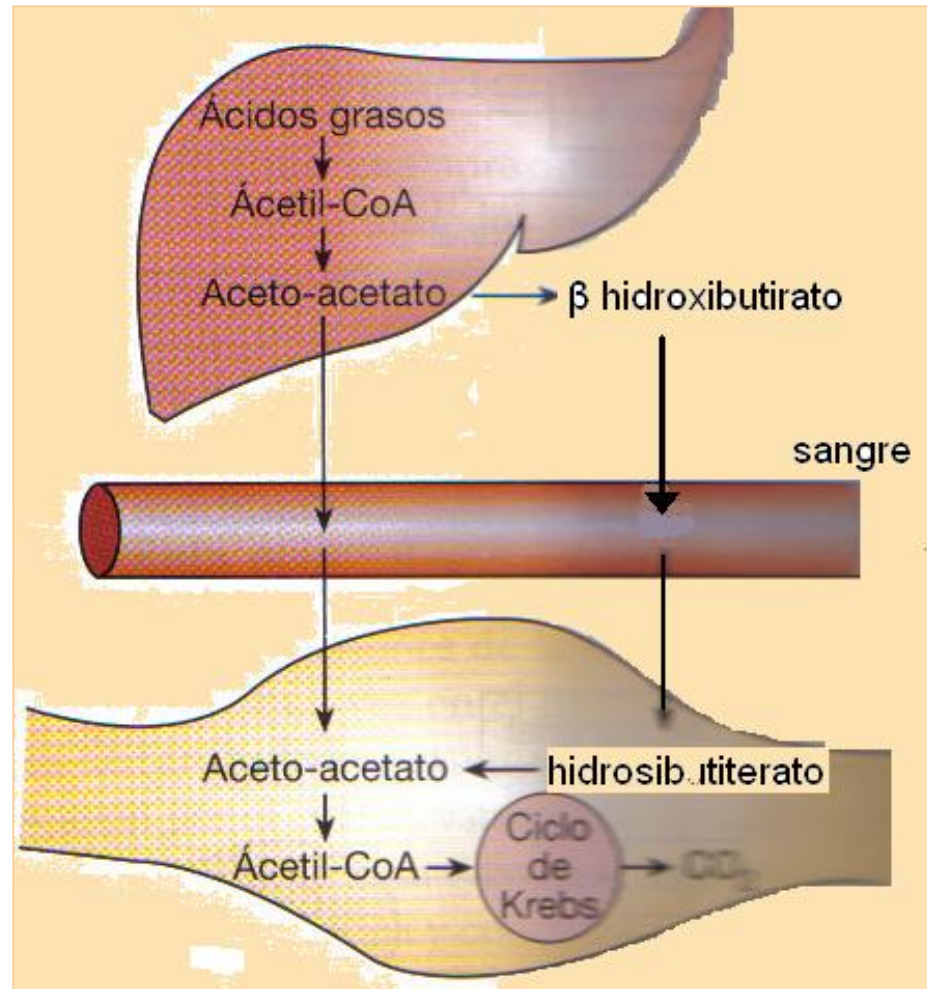
Proceso de la β -oxidación de los ácidos grasos en la mitocondria de la célula muscular.



Metabolismo de los cuerpos cetónicos durante el ejercicio

- @ Los cuerpos cetónicos se movilizan desde hígado y pueden ser utilizados por la célula muscular como combustible (*ver fig*).
- @ El aporte de energía es pequeño, sólo contribuye con menos del 7% de energía en el metabolismo muscular.
- @ Pueden ser utilizados como sustrato energético por otras células del organismo: las del sistema nervioso.

Formación de cuerpos cetónicos en el hígado y su utilización en la célula muscular





WILLIE
INGLATERRA
1966



JUANITO
MEXICO
1970



TIP Y TAP
ALEMANIA
1974



GAUCHITO
ARGENTINA
1978



NARANJITO
ESPAÑA
1982



PIQUE
MEXICO
1986



CIAO
ITALIA
1990



STRIKER
USA
1994



FOOTIX
FRANCIA
1998



NIK, ATO, KAZ
COREA-JAPÓN
2002



GOLEO
ALEMANIA
2006



ZAKUMI
SUDAFRICA
2010



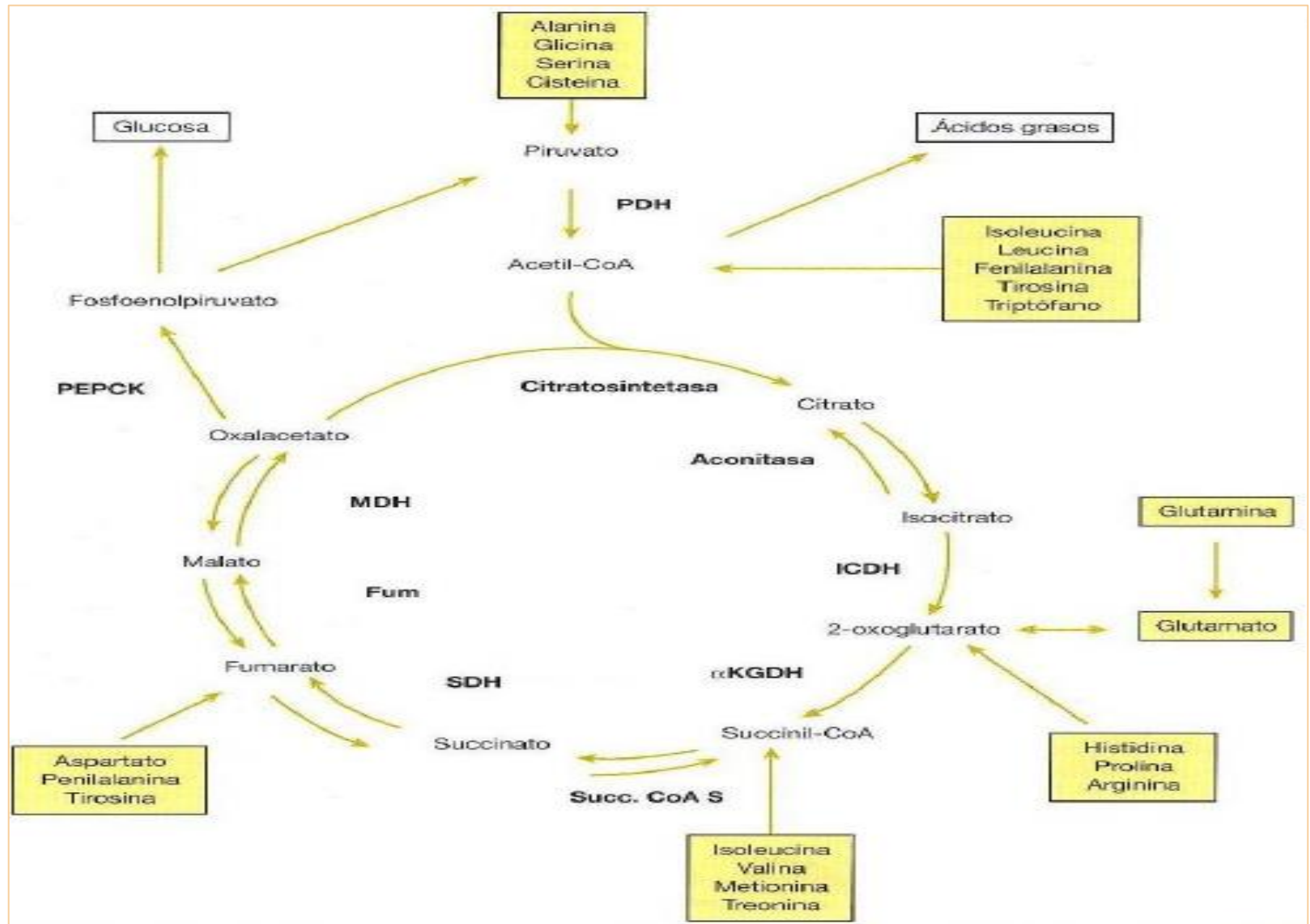
FULECO
BRASIL
2014

Metabolismo de las proteínas como sustrato energético en el ejercicio

- El 80% de AAL están en músculo esquelético.
- Pueden utilizarse como sustrato energético mediante oxidación (ppal/ AACR), o liberarlos a plasma (fundamentalmente alanina y glutamina) donde en hígado se constituyen en precursores gluconeogénicos.
- Las utilizadas son las prot⁻ no contráctiles.
- Participación confirmada por presencia de urea en sangre y excreción de nitrógeno en orina.

- Aporte energético entre el 3-10% del total
- Importante en ejercicios que superen 60 minutos
- La mayor % se convierten en piruvato, acetilCoA, o intermediarios del ciclo de Krebs
- Los más usados: Ala, Asp, Glu, *Val, Leu, Isoleucina (últimos tres son AACR que son los más oxidados)*
- Mayor oxidación: niveles bajos de glucógeno, temperaturas bajas

Oxidación de aminoácidos mediante su conversión en piruvato o en intermediarios del ciclo de Krebs



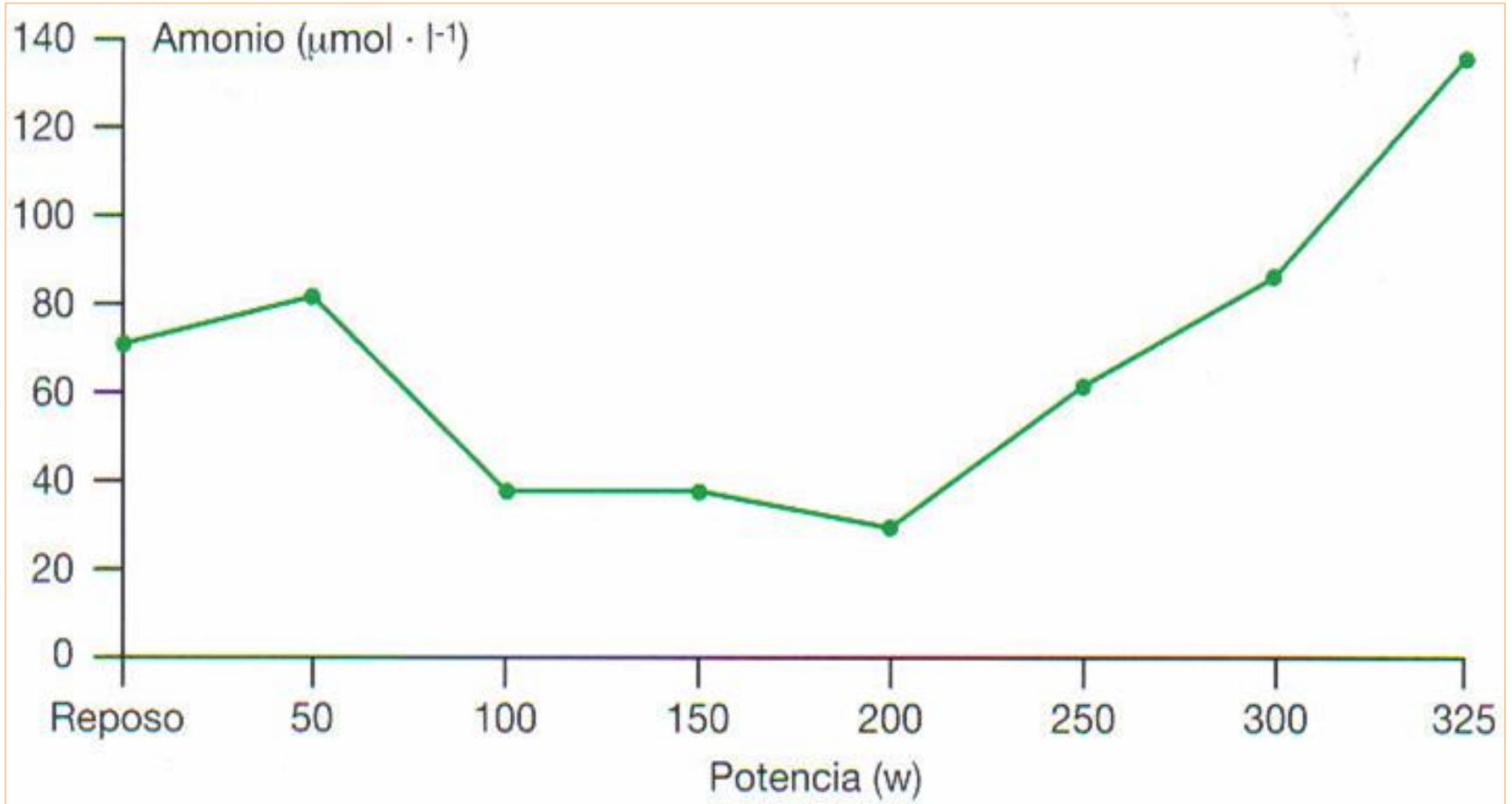
Producción de Amonio

@ La producción de amonio por el músculo esquelético es proporcional al trabajo realizado y es mayor durante el ejercicio intenso cuando la tasa de utilización de ATP puede exceder la tasa de producción.

@ Depende de:

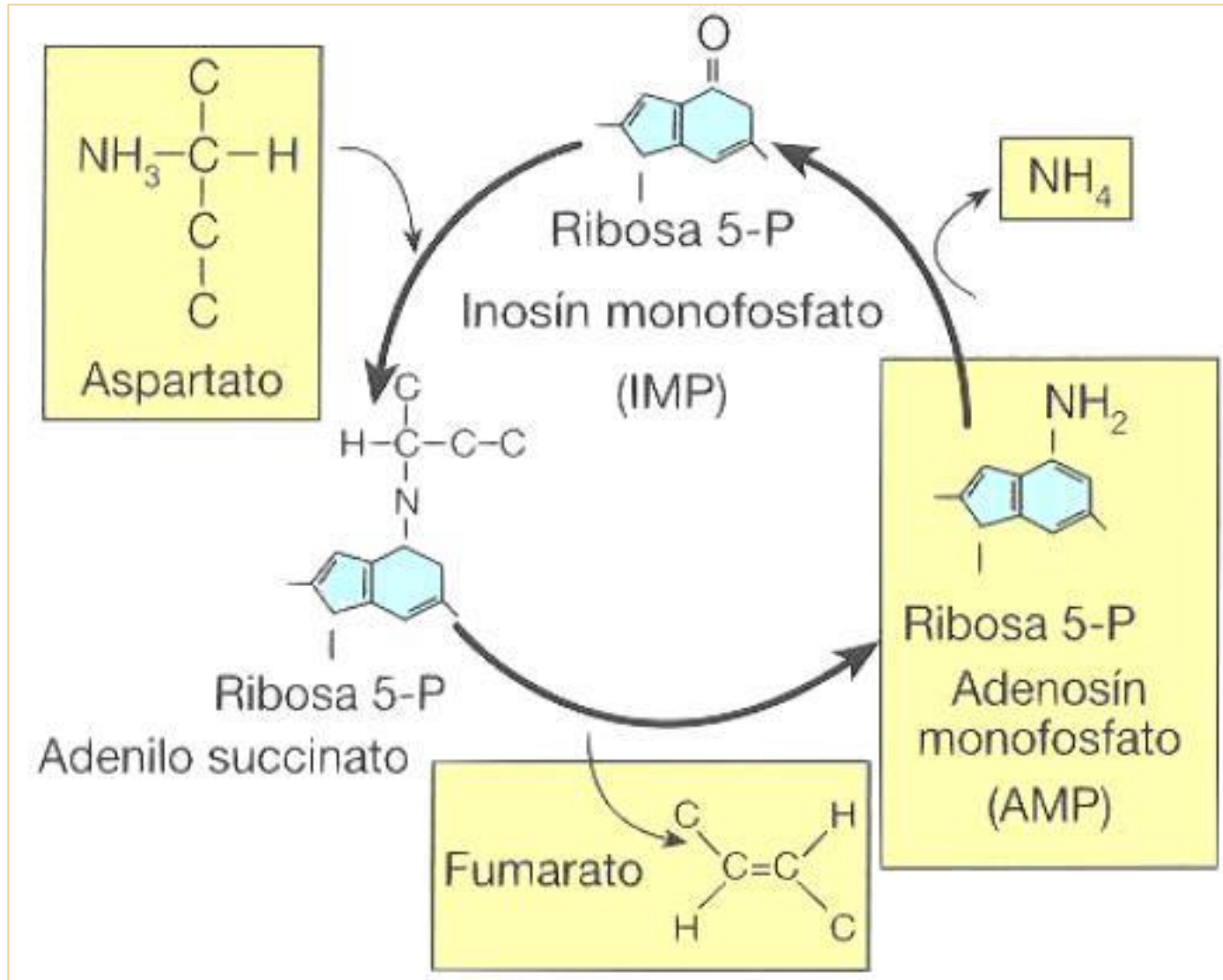
- **Tipo de ejercicio** : > en ciclo (patrón de reclutamiento muscular) que en banda
- **Intensidad de ejercicio**: > a mayor VO_2 (*ver fig*)
- **Duración del ejercicio**: > a mayor duración

Niveles de amonio según intensidad del ejercicio



- **Distribución del tipo de fibras:** las fibras rápidas (IIx) serían fuente de NH_3 en ejercicio intenso, mientras las fibras lentas (I) en ejercicio prolongado
- **Influencia del entrenamiento:** la adaptación del entrenamiento aeróbico al metabolismo oxidativo permite reducir la depleción de ATP y el aumento de NH_3
- **Disponibilidad de sustrato energético:** a bajos niveles de glucógeno muscular, la liberación muscular de NH_3 es de hasta 5 veces llevando a niveles plasmáticos 3 veces mayores

Ciclo de las Purinas



Aclaramiento de NH_3 en el ejercicio

- ⌚ El hígado metaboliza NH_3 vía ciclo de la urea, aunque durante el ejercicio no parece ser el lugar principal de aclaramiento.
- ⌚ Otros mecanismos: aclaramiento renal, sudor, hígado, músculo esquelético.
- ⌚ El pulmón parece ser un sistema clave para el aclaramiento de NH_3 durante el ejercicio.



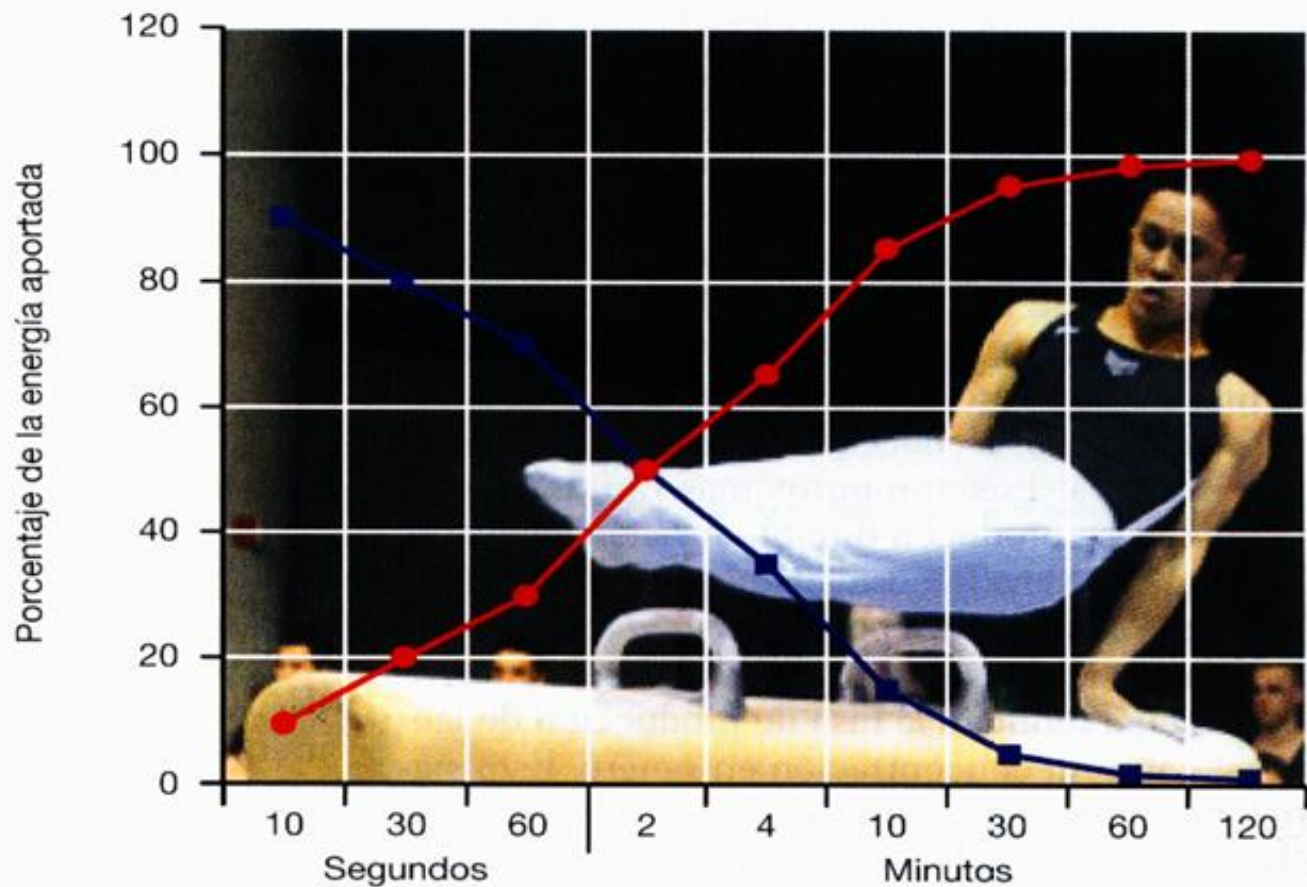
DEPORTE SE PONE EN MARCHA PARA DEVOLVER LA ESPERANZA QUE LA GUERRA LES QUITÓ



XVIII Copa Matamoros

INTERACCION DE LOS DIFERENTES SISTEMAS ENERGETICOS DURANTE EL EJERCICIO

- ⌚ Los diferentes sistemas energéticos no actúan de forma independiente.
- ⌚ En función de la intensidad, predomina un sistema sobre los otros excepto cuando se presentan transiciones de la predominancia.



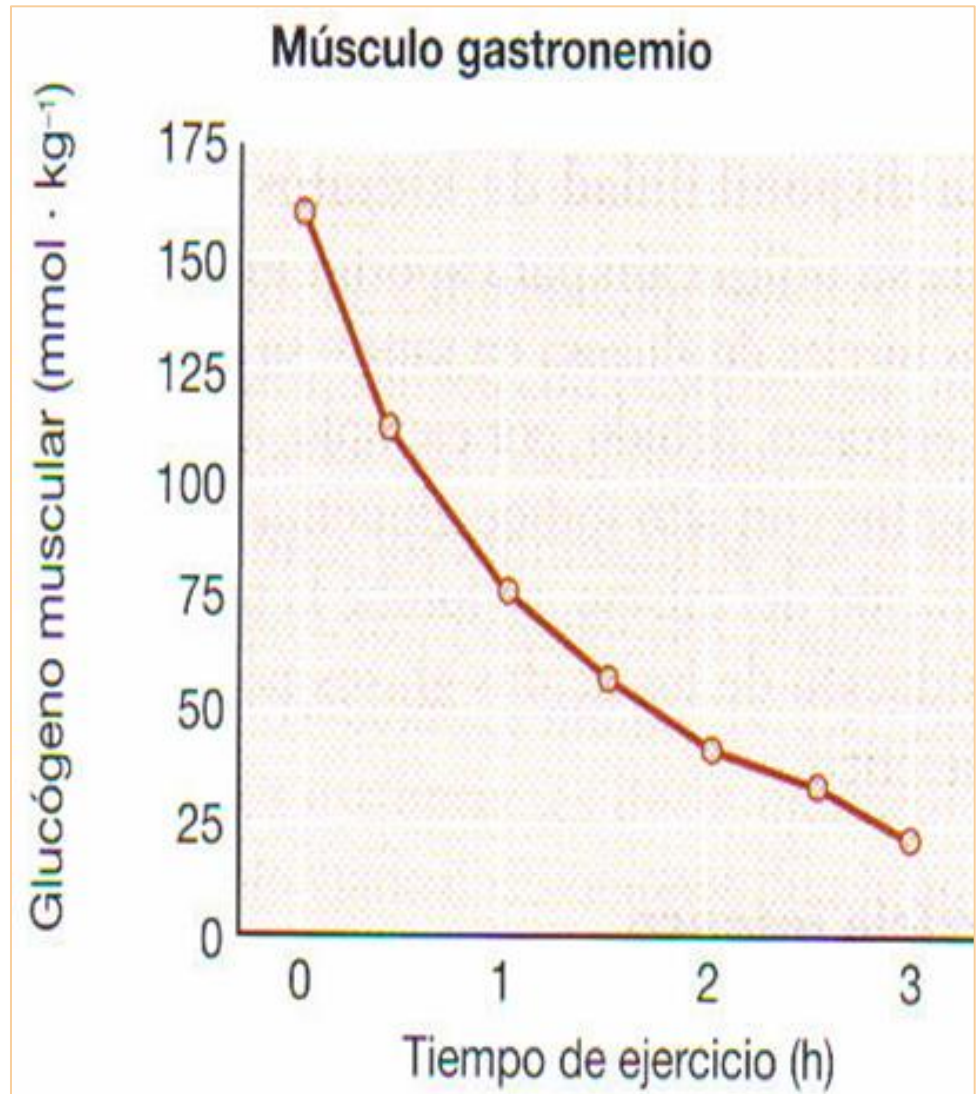
	Segundos			Minutos					
	10	30	60	2	4	10	30	60	120
Anaeróbico	90	80	70	50	35	15	5	2	1
Aeróbico	10	20	30	50	65	85	95	98	99

FUENTES ENERGETICAS

DINAMICA DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

- Los factores que determinan la mezcla de sustratos energéticos son la intensidad y la duración de un ejercicio, la forma física y el estado nutricional del individuo.
- El hígado aumenta significativamente la liberación de glucosa a los músculos activos según progresa la intensidad del ejercicio.

@Durante el ejercicio los depósitos de glucógeno muscular disminuyen progresivamente al aumentar la duración del mismo. La tasa de utilización del glucógeno es más elevada en los primeros 15 a 20 minutos de ejercicio



@Con ejercicio prolongado (2 horas), al 85% del VO_2 , el glucógeno muscular se depleta.

@Si la intensidad es más elevada, los depósitos de glucógeno no se agotan por que no es posible mantener este ritmo.

@El glucógeno puede llegar a agotarse cuando se realizan ejercicios de alta intensidad intervalados, a diferencia del continuo.

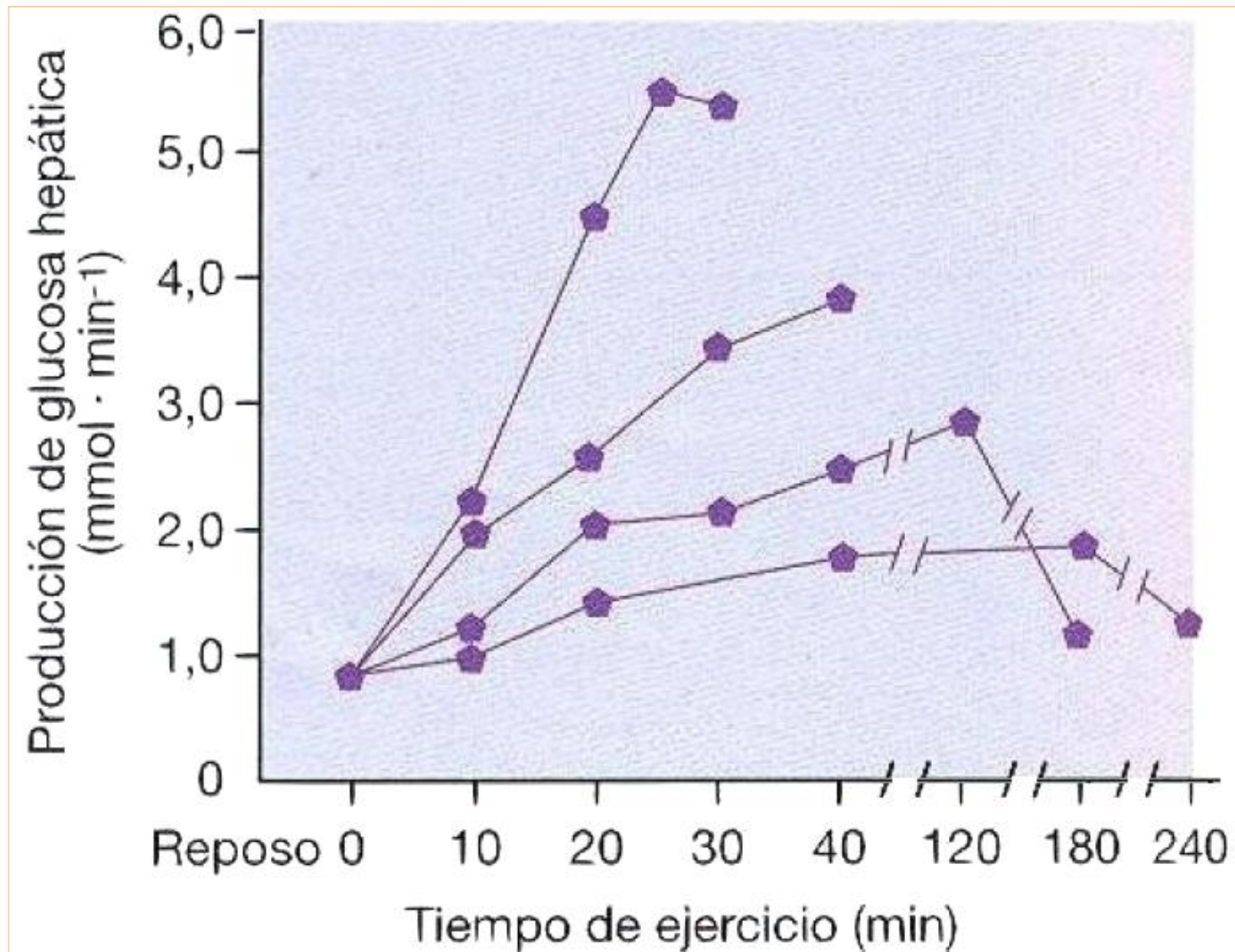
@EJERCICIO INTENSO: Aumento de la liberación de adrenalina, noradrenalina y glucagón, y un descenso de insulina. Esta respuesta activa la *fosforilasa*.

@EJERCICIO MODERADO Y PROLONGADO: al inicio, la principal fuente energética la constituye los CHO; después de 20min, el 60% lo aportan las grasas.

@Cuanto más baja es la intensidad, mayor protagonismo adquieren las grasas.

GLUCOGENO HEPATICO

- ⌚ La tasa de liberación está relacionada con la duración y la intensidad del ejercicio (*ver fig*).
- ⌚ Se reduce a la mitad al cabo de 1 hora de ejercicio intenso, y al cabo de 2hs casi todo el glucógeno almacenado en hígado y en músculos activos se ha consumido.
- ⌚ La mayor tasa de glucosa liberada corresponde a degradación de glucógeno, seguida por precursores gluconeogénicos.





DINAMICA DE LAS GRASAS DURANTE EL EJERCICIO

@La oxidación de estas depende de:

- disponibilidad de AGL
- capacidad de los tejidos para oxidarlos

@La grasa intracelular y extracelular proporciona entre un 30 y un 80% de la energía para AF, dependiendo del estado nutricional, grado de entrenamiento y de la intensidad y duración del ejercicio.

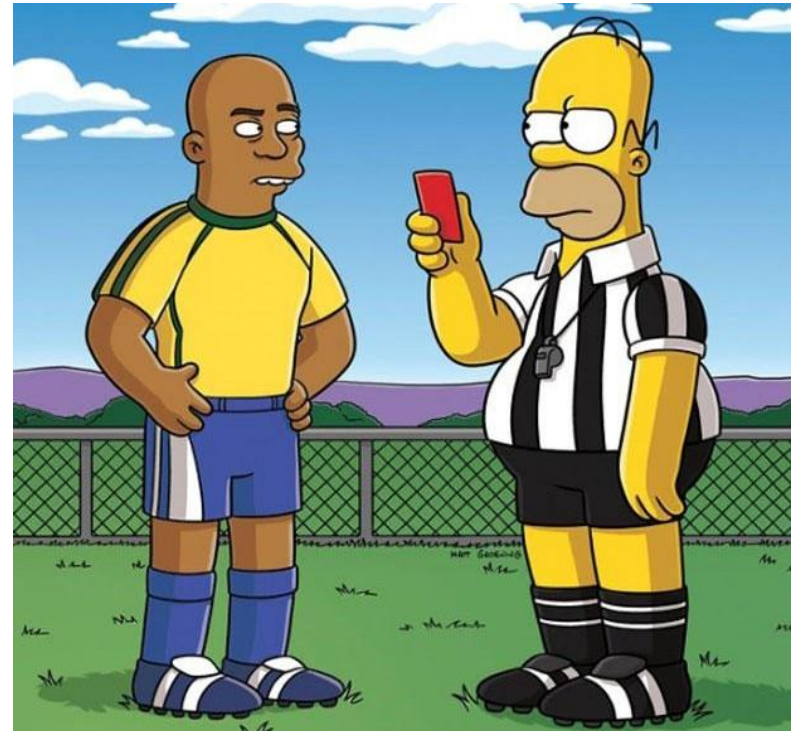
@El flujo sang. al tejido adiposo aumenta si el ejercicio es de baja intensidad → ↑ movilización

DINAMICA DE LAS GRASAS DURANTE EL EJERCICIO

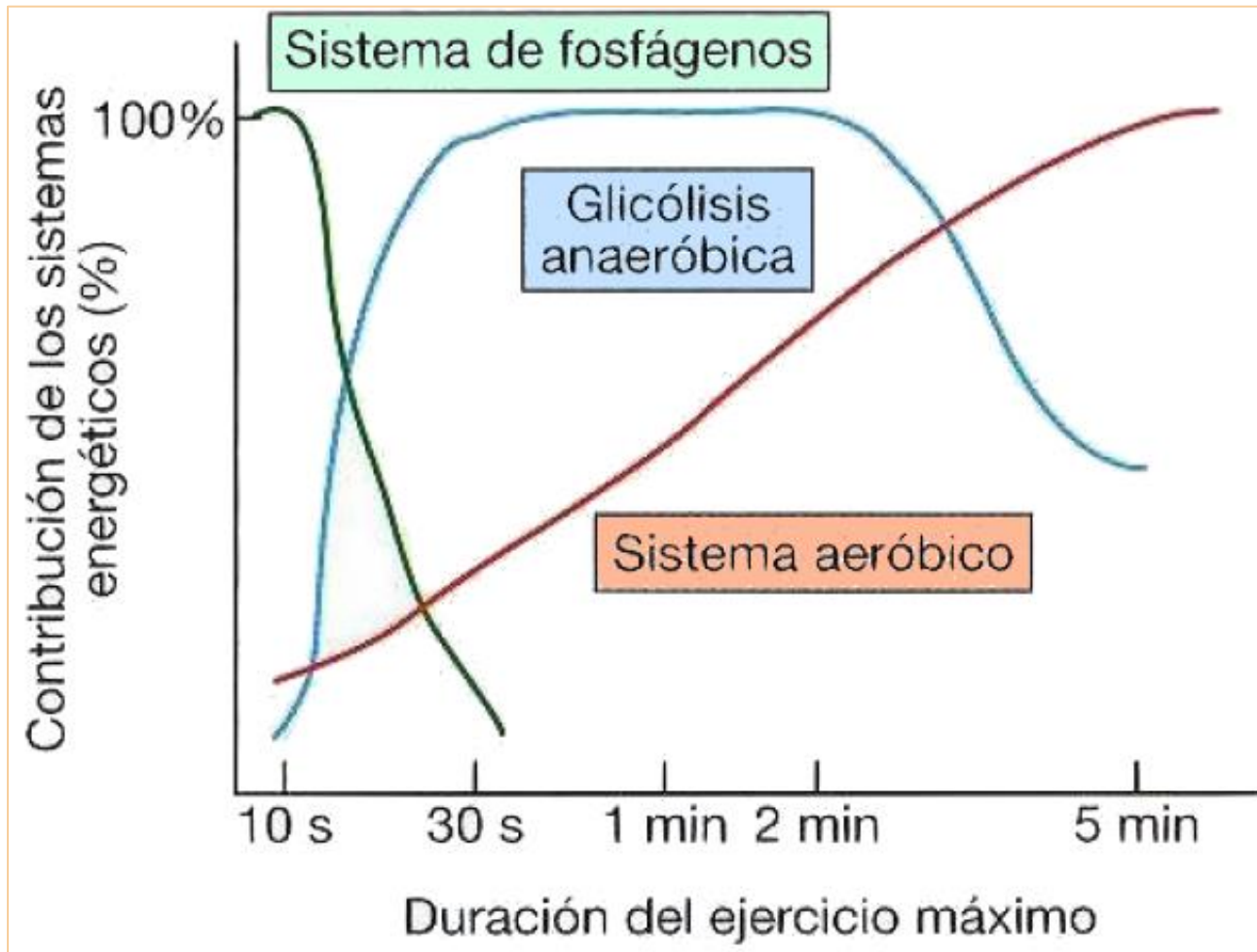
- @En ejercicio de alta intensidad, se favorece el uso de TGC intramusculares (aportan entre un 15 y 35% de la energía) siendo los deportistas de resistencia los que pueden conseguir mayor utilización.
- @Activación simpática y disminución de insulina → favorecen movilización de AG desde tejido adiposo.
- @A intensidades inferiores al 40% del máximo, las grasas constituyen la principal fuente de energía.

FACTORES DETERMINANTES DEL USO DE SUSTRATOS EN EL EJERCICIO

- ❖ Intensidad
- ❖ Duración
- ❖ Condición física
- ❖ Dieta
- ❖ Genero
- ❖ Factores ambientales
- ❖ Composición fibras musculares



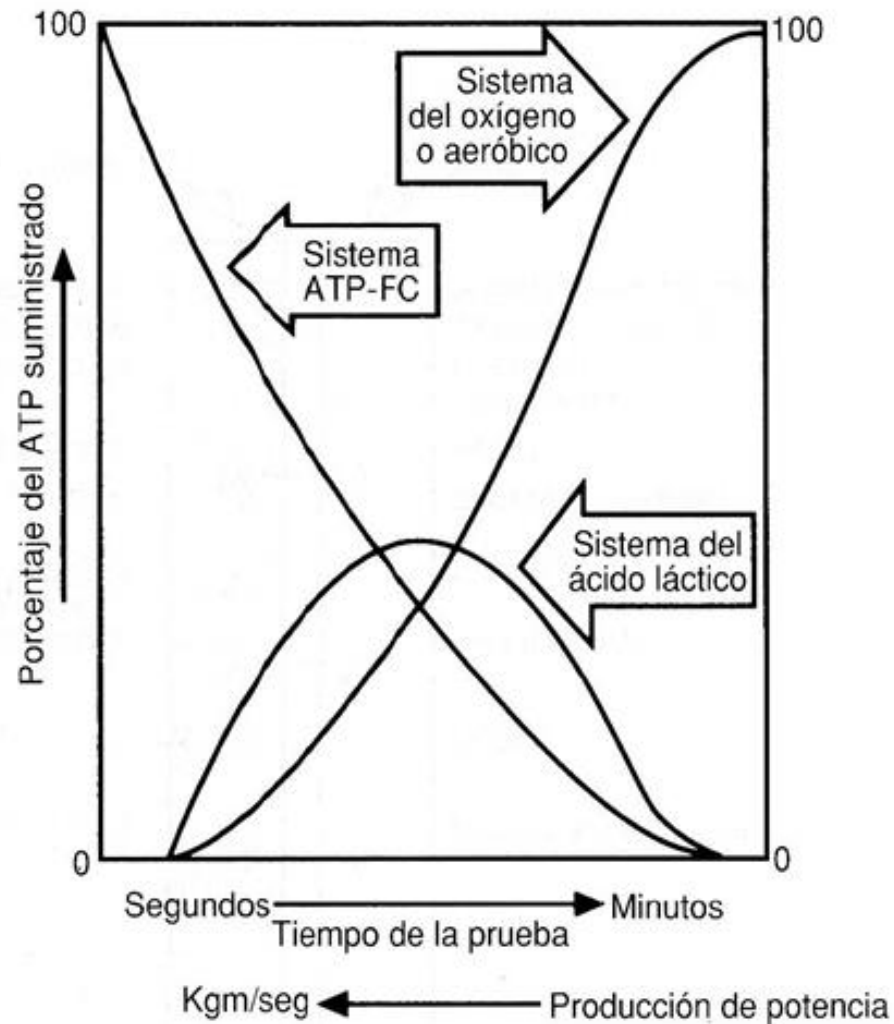
Contribución de los sistemas energéticos



TRANSFERENCIA DE ENERGÍA DURANTE EL EJERCICIO

ENERGIA INMEDIATA: *El sistema ATP-PCr*

- Los ejercicios de corta duración y alta intensidad.
- Energía procede de reservas de fosfógenos intramusculares, ATP y PCr.
- Este sistema de aporte energético se agota rápidamente cuando se utiliza al máx.
- Se recuperan por refosforilación del ADP

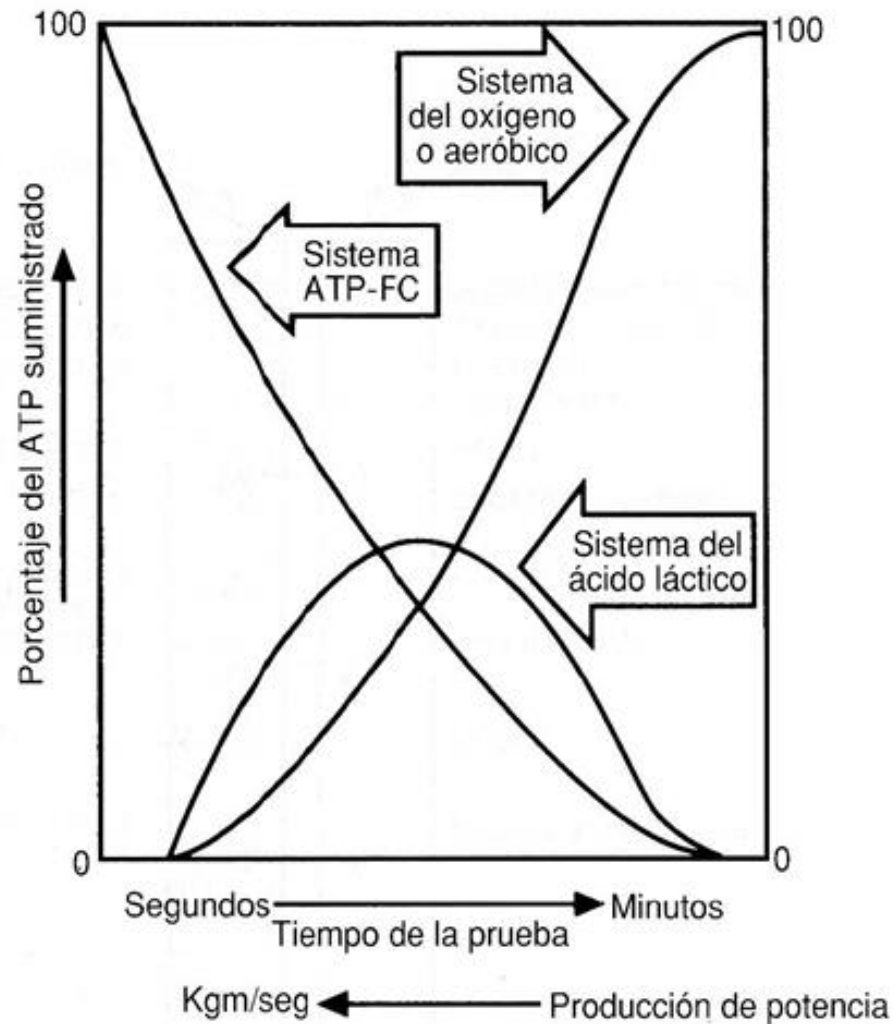


Relación entre el porcentaje de ATP aportado por los tres sistemas energéticos en relación con el tiempo de la prueba y la producción de potencia. Cuanto menor sea el tiempo de la prueba mayor será la producción de potencia y más rápido el requerimiento de energía (ATP). (Basada en datos de Fox y col., 1969.)

ENERGÍA A CORTO PLAZO

➤ **SISTEMA DEL ACIDO LACTICO:**

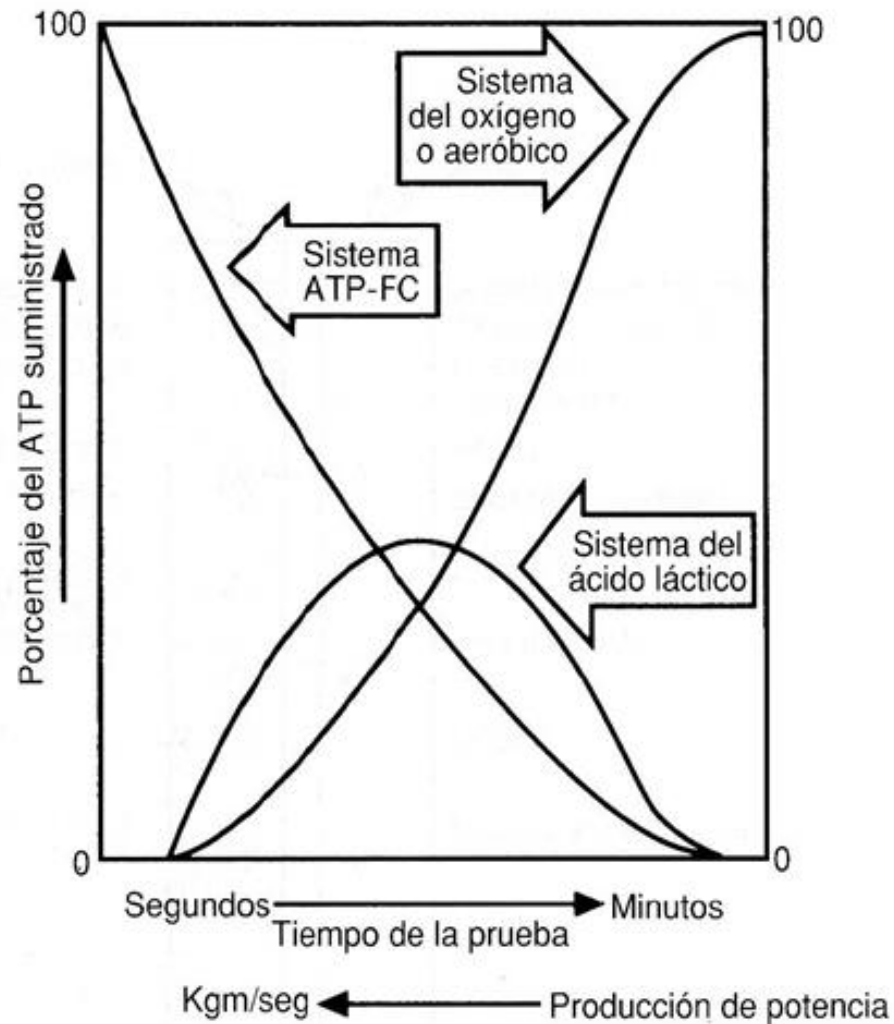
- Producción rápida de ATP
- Conduce a la formación de lactato
- Utilizada preferencial/ en ejercicios de máxima intensidad entre los 60 y 180seg.
- El catabolismo de la glucosa en la glucólisis anaeróbica permite una recuperación rápida del ATP.



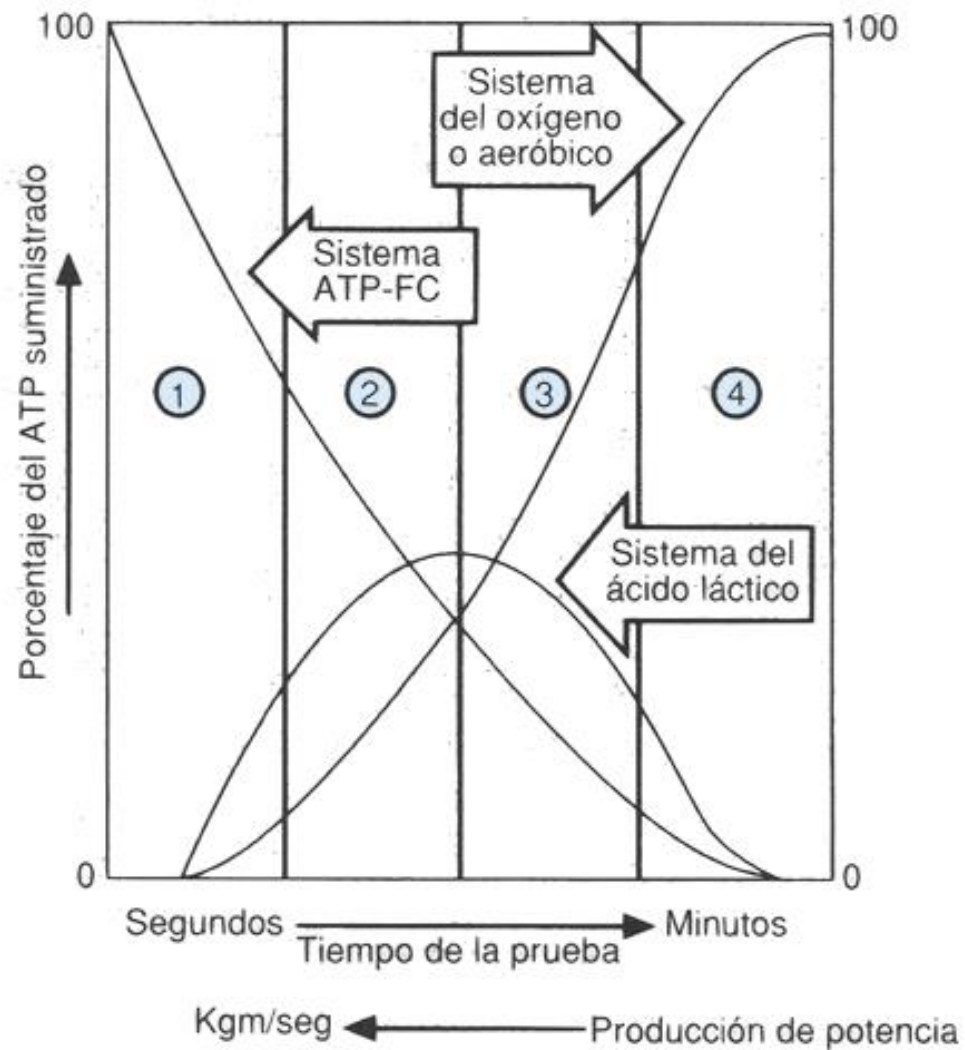
Relación entre el porcentaje de ATP aportado por los tres sistemas energéticos en relación con el tiempo de la prueba y la producción de potencia. Cuanto menor sea el tiempo de la prueba mayor será la producción de potencia y más rápido el requerimiento de energía (ATP). (Basada en datos de Fox y col., 1969.)

ENERGÍA A LARGO PLAZO

- SISTEMA AEROBICO
- Principal sistema en ejercicios de larga duración
- Utiliza CHO, grasas y proteínas como fuente de energía
- Implica la participación directa del oxígeno: por eso se mide a partir del VO_2 .



Relación entre el porcentaje de ATP aportado por los tres sistemas energéticos en relación con el tiempo de la prueba y la producción de potencia. Cuanto menor sea el tiempo de la prueba mayor será la producción de potencia y más rápido el requerimiento de energía (ATP). (Basada en datos de Fox y col., 1969.)



División de las relaciones ilustradas en la figura 3-4 en cuatro áreas de actividades. En el cuadro 3-1 se citan los deportes específicos abarcados por estas directrices del continuo energético.

Cuadro 3-1. Cuatro áreas definidas del continuo energético

<i>Área</i>	<i>Tiempo de la prueba</i>	<i>Principales sistemas energéticos que participan</i>	<i>Ejemplos de tipo de actividad</i>
1	Menos de 30 seg	ATP-FC	Lanzamiento de la bala, carrera de 100 m, robo de base en béisbol, "swing" del golf y el tenis, carreras de zagueros en fútbol americano, prueba de natación de 50 m
2	30 segundos a 1½ min	ATP-FC y ácido láctico	Carreras de 200 y 400 m, prueba de natación de 100 m, carrera de patinaje
3	1½ min a 3 min	Ácido láctico y oxígeno (O ₂)	Carrera de 800 m, algunas pruebas de gimnasia, boxeo, natación 200 m, asalto de boxeo.
4	Mayor de 3 min	Oxígeno (O ₂)	Juegos de campo (fútbol, LaCrosse). Esquí "cross-country", maratón

Cuadro 2-2. Características generales de los sistemas energéticos

<i>Características</i>	<i>Sistema ATP-FC (fosfágeno)</i>	<i>Sistema del ácido láctico</i>	<i>Sistema del oxígeno</i>
Necesidad de oxígeno:	Anaeróbico	Anaeróbico	Aeróbico
Velocidad de producción de ATP:	Muy rápida	Rápida	Lenta
Fuente de energía:	Combustible químico: FC	Combustible alimenticio: glucógeno	Combustibles alimenticios: glucógeno (glucosa), grasas, proteínas (muy poco si es que participan)
Capacidad para la producción de ATP:	Muy limitada	Limitada	Ilimitada
Capacidad para resistencia:	Baja	Baja	Alta
Producción de potencia:	Muy alta	Alta	Moderada a baja
Tipos de actividades:*	Usado en actividades con producción explosiva de alta potencia (p. ej., carreras rápidas, saltos, lanzamientos)	Fuente principal para actividades que tienen una duración de 1 a 3-4 minutos	Fuente para actividades de resistencia
Otras:	Reservas musculares limitadas	Producto: ácido láctico (asociado con el comienzo de la fatiga muscular)	No hay subproductos que originen fatiga

* Para una actividad particular, uno o dos sistemas dominan como proveedores de energía. Los otros sistemas pueden continuar actuando también.

Cuadro 9-2. Varios deportes y actividades y sus sistemas energéticos predominantes*

<i>Deporte o actividad</i>	<i>% de énfasis por sistema energético</i>		
	<i>ATP-FC y AL</i>	<i>AL-O₂</i>	<i>O₂</i>
Béisbol	80	20	
Básquetbol	85	15	
Esgrima	90	10	
Hockey sobre césped	60	20	20
Fútbol americano	90	10	
Golf	95	5	
Gimnasia	90	10	
Hockey sobre hielo			
Delanteros, defensa	80	20	
Guardavalla	95	5	
Lacrosse			
Guardavalla, defensa, delanteros	80	20	
Mediocampistas, "hombre abajo"	60	20	20
Deportes recreativos	5	5	90
<i>Remo</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>50</i>
Esquí			
"Síalom", salto, descenso	80	20	
"Cross-country"		5	95
Fútbol			
Guardavalla, punteros, goleadores	80	20	
Mediocampistas, hombre de enlace	60	20	20
Softbol	80	20	
Natación y saltos ornamentales			
50 m estilo libre, saltos ornamentales	98	2	
100 m, 100 yd (todos los estilos)	80	15	5
200 m, 220 yd (todos los estilos)	30	65	5
400 m, 440 yd, 500 yd	20	55	25
estilo libre			
1.500 m, 1650 yd	10	20	70
Tenis	70	20	10
Pista y campo			
100 m, 100 yd; 200 m, 220 yd	95	5	
Pruebas de campo	98	2	
400 m, 440 yd	80	15	5
800 m, 880 yd	30	65	5
1.500 m, 1 milla	15	55	30
2 millas (3.200 m)	15	20	65
3 millas, 5.000 m	10	20	70
6 millas (9.600 m) ("cross-country"),			
10.000 m	5	15	80
Maratón		2	98
Vóleibol	85	10	5
Lucha	90	10	

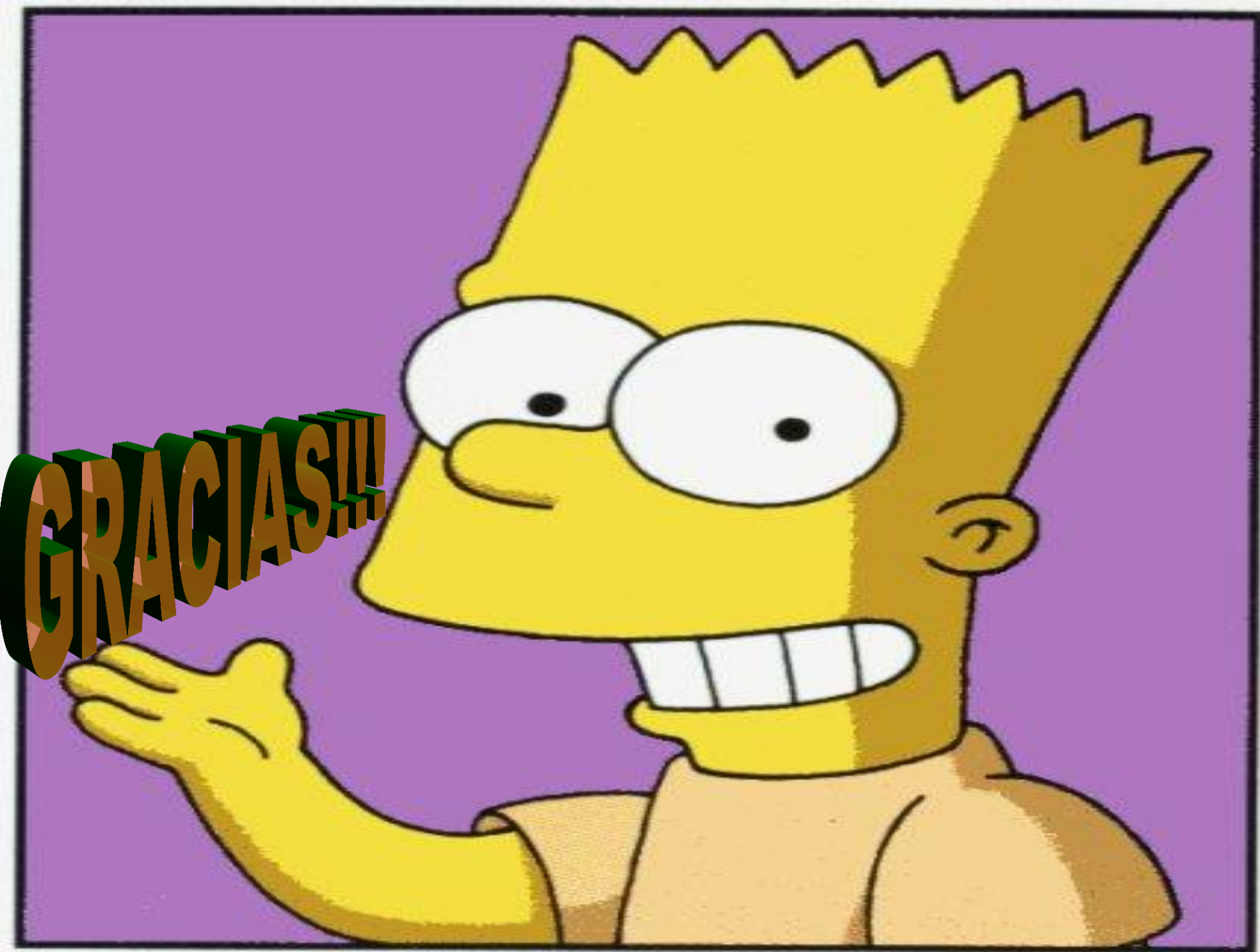
* Modificado de Fox y Mathews (1974),
también.

Cuadro 9-3. Definiciones de varios métodos de entrenamiento y desarrollo de los sistemas energéticos*

Método de entrenamiento	Definición	% de desarrollo		
		ATP-FC y AL	AL y O ₂	O ₂
"Sprints" de aceleración	Incremento gradual en la velocidad de la carrera desde el trote al paso largo en segmentos de 50 a 110 m	90	5	5
Carrera rápida continua	Carrera de larga distancia (o natación) a un ritmo rápido	2	8	90
Carrera lenta continua	Carrera de larga distancia (o natación) a un ritmo lento	2	5	93
Falso "sprint"	Dos "sprints" interrumpidos por períodos de trote o marcha (recuperación)	85	10	5
"Sprint" con intervalos	"Sprints" de 50 m y trotes de 50-70 m alternados para distancias de hasta 5.000 m	20	10	70
Entrenamiento con intervalos	Períodos repetidos de trabajo intercalados con períodos de descanso	0-80	0-80	0-80
Trote ("jogging")	Carrera continua a un ritmo lento a través de una distancia moderada (p. ej., 3 a 5 km)	—	—	100
Carrera con repetición	Similar al entrenamiento con intervalo pero con intervalos de trabajo y descanso más prolongados	10	50	40
Juego en velocidad ("fartlek")	Carrera rápida y lenta alternada sobre terrenos naturales variados	20	40	40
Entrenamiento de "sprints"	"Sprints" repetidos a velocidad máxima con recuperación completa entre las repeticiones	90	6	4

* Modificado de Fox (1977).





BIBLIOGRAFIA

- 1) CHICHARRO J.L., Vaquero A.F. Fisiología del ejercicio. Editorial Panamericana. Tercera edición, 2006.
- 2) BOWERS W.R., FOX E. L. Fisiología del Deporte. Tercera Edición. Ed. Panamericana, 1995.