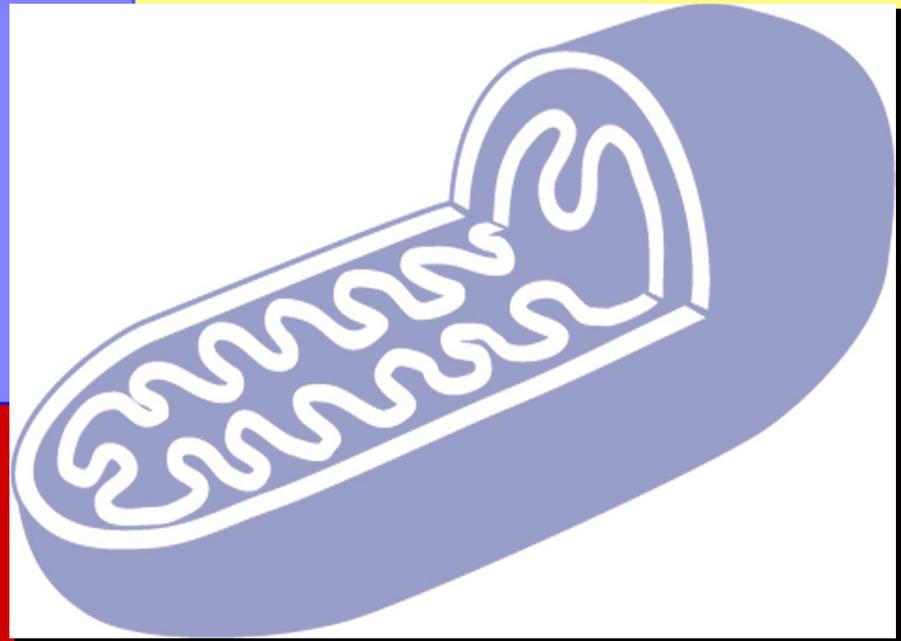




METABOLISMO, ENERGÍA, Y LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS BÁSICOS



Objetivos de Aprendizaje

- ◆ Aprender cómo nuestros cuerpos transforman los alimentos consumidos en ATP para proveer la energía requerida en el movimiento que inducen los músculos esqueléticos.
- ◆ Examinar los tres sistemas energéticos que generan energía para la acción muscular.
- ◆ Explorar cómo la producción y disponibilidad de energía puede limitar el rendimiento

(continúa)

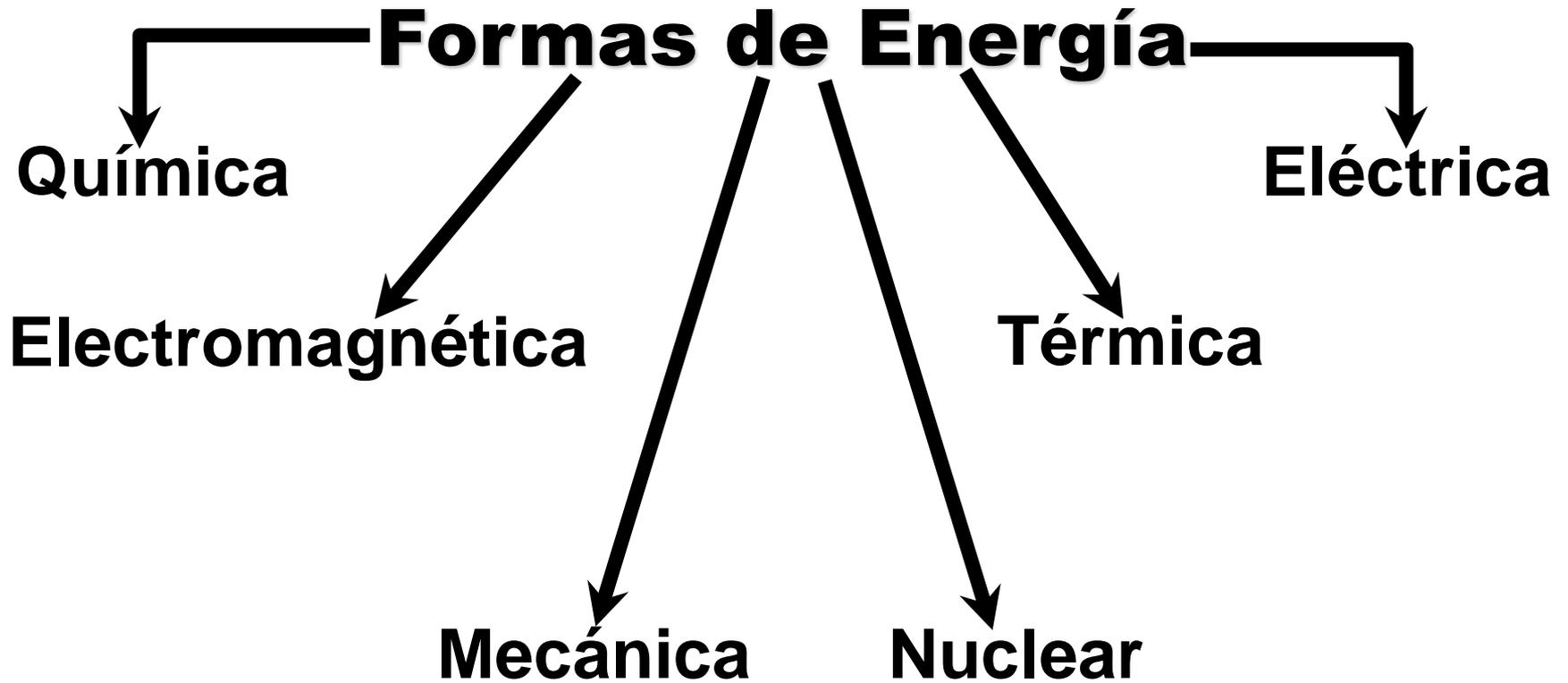
Objetivos de Aprendizaje

- ◆ Aprender cómo el ejercicio afecta el metabolismo y cómo el metabolismo puede ser monitoreado para determinar el gasto energético.
- ◆ Descubrir las causas y sitios fundamentales para la fatiga muscular.

Energía

- ♦ La capacidad para desempeñar trabajo.

Energía



Leyes de Termodinámica

TERMODINÁMICA

Primera Ley

**La Energía ni se Crea
ni se Destruye, solo
se Transforma de una
Forma a otra**

**Todas las Formas
de Energía
Son
Intercambiables**

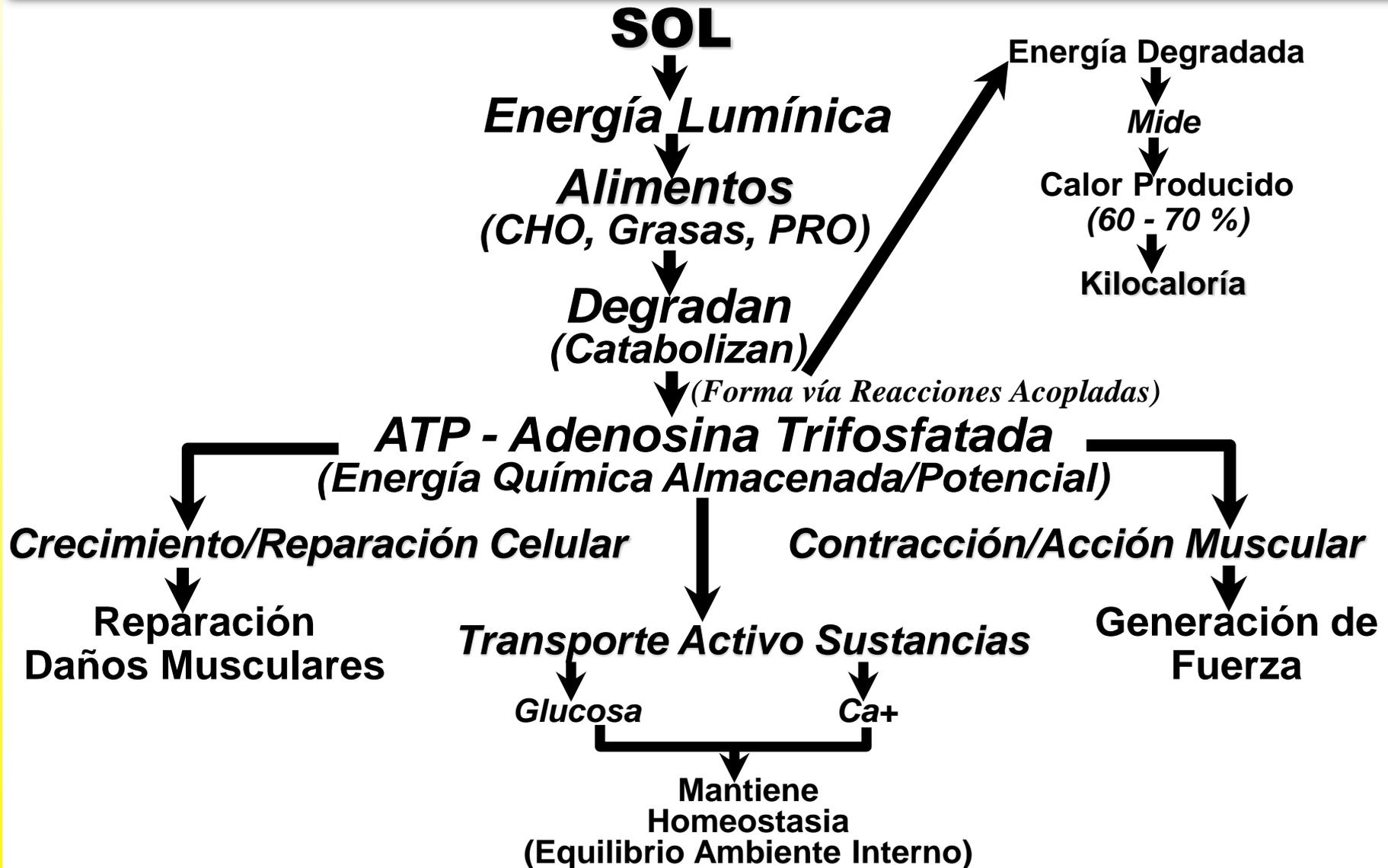
Segunda Ley

**Los Sistemas Vivientes se
encuentran en un Alto Estado
de Alteración, llamado
*Entropía***

**** Implicación ****

**Los Cambios Energético en
los Sistemas Vivientes
Tienden a ir desde un
Estado Alto de Energía
Libre a un Estado
Bajo de Energía**

Energía para la Actividad Celular



Energía para la Actividad Celular

SOL



Origen de toda la Energía



Energía Lumínica



Plantas



***Convierten la Luz en Energía Química Almacenada
(Fotosíntesis)***



Ser Humano



***Obtiene la Energía Consumiendo
Plantas o Animales
(CHO, Grasas, Pro)***



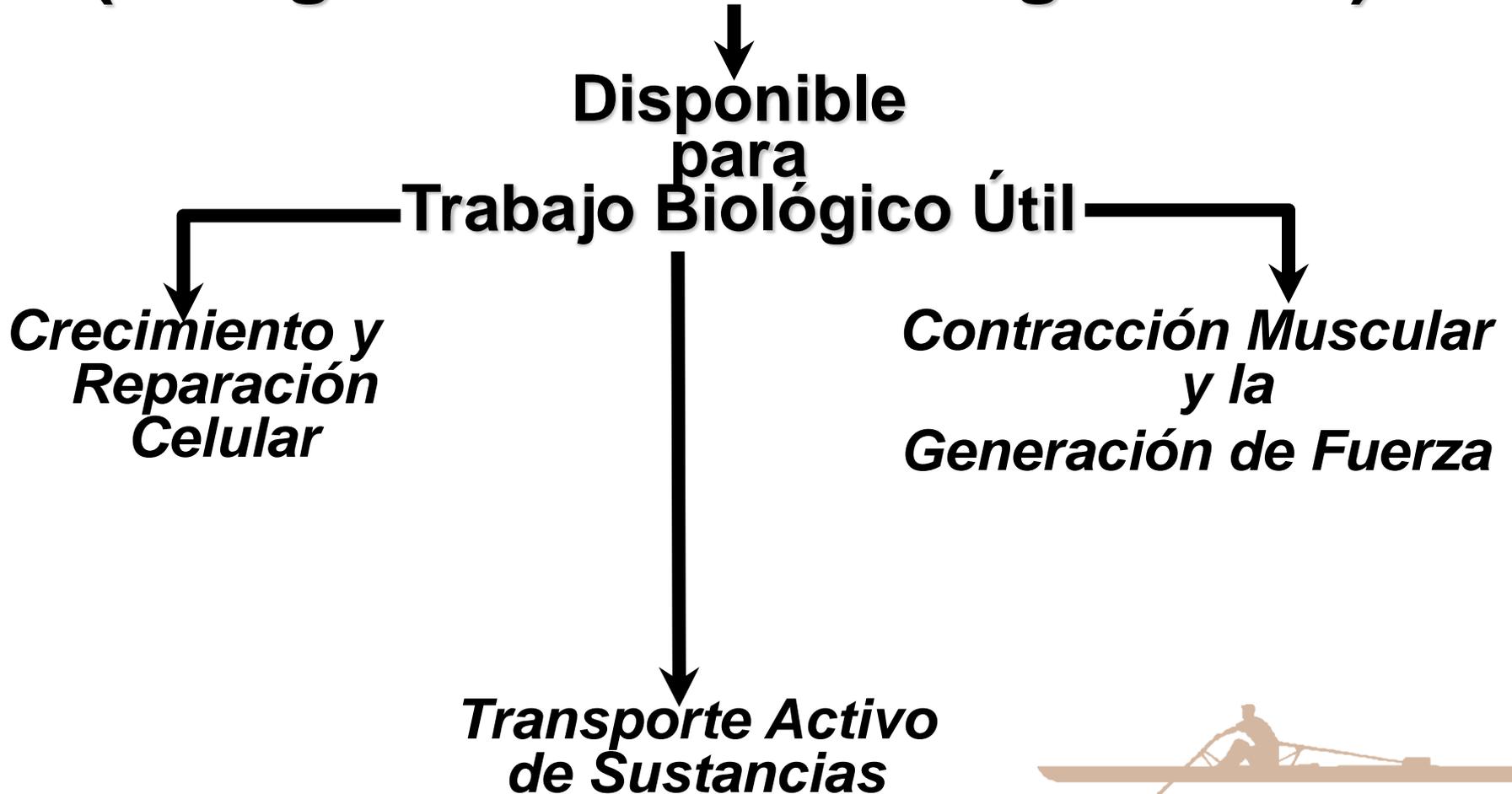
Se Descomponen en las Células para liberar Energía Almacenada

Caloría y Kilocaloría

- ◆ La energía en el sistema biológico se mide en calorías (cal).
- ◆ 1 cal es la cantidad de calor requerido para elevar 1 g de agua a 1°C, de 14.5°C a 15.5°C.
- ◆ En humanos, la energía se expresa en kilocalorías (kcal), donde 1 kcal equivale a 1,000 cal.
- ◆ Con frecuencia, muchas personas erróneamente hablan de “calorías” cuando en realidad quieren decir más precisamente kilocalorías. Cuando hablamos que alguien gasta 3,000 cal por día, lo que realmente significa que la persona está gastando 3,000 kcal por día.

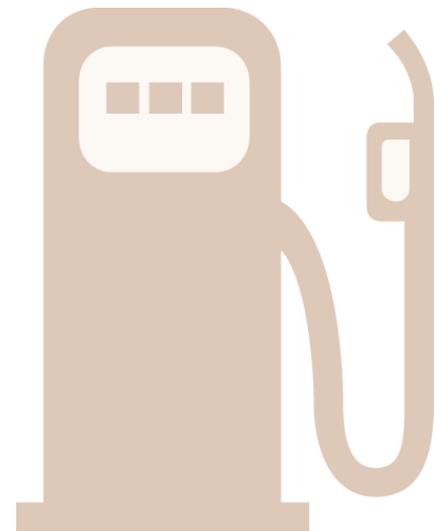
Energía para la Actividad Celular

ENERGÍA LIBRE **(Energía en un Estado Organizado)**

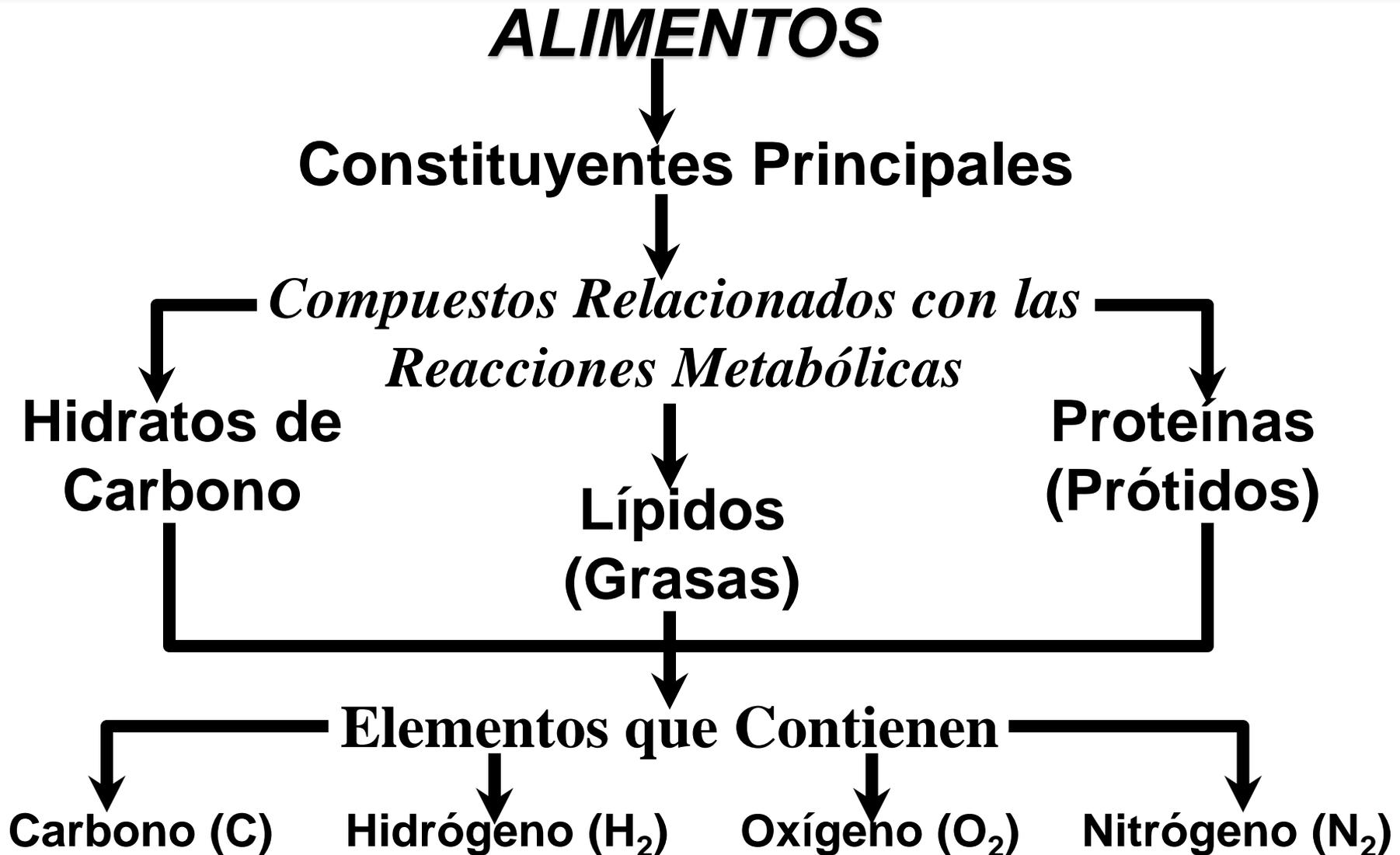


Energía para la Actividad Celular

- ◆ Las fuentes alimentarias se procesan vía el catabolismo— el proceso de “degradar.”
- ◆ La energía se transfiere desde las fuentes alimentarias hasta nuestras células para que sean almacenadas como ATP.
- ◆ ATP es un compuesto de alta energía almacenado en nuestras células y representa la fuente de toda la energía utilizada en reposo y durante el ejercicio.



Fuentes Energéticas



Fuentes Energéticas

FUENTES PRIMARIAS DE ENERGÍA

Sinónimos:

- Sustratos
- Combustibles Metabólicos
- Sustancias Nutricias
- Macromoléculas

Ejemplos

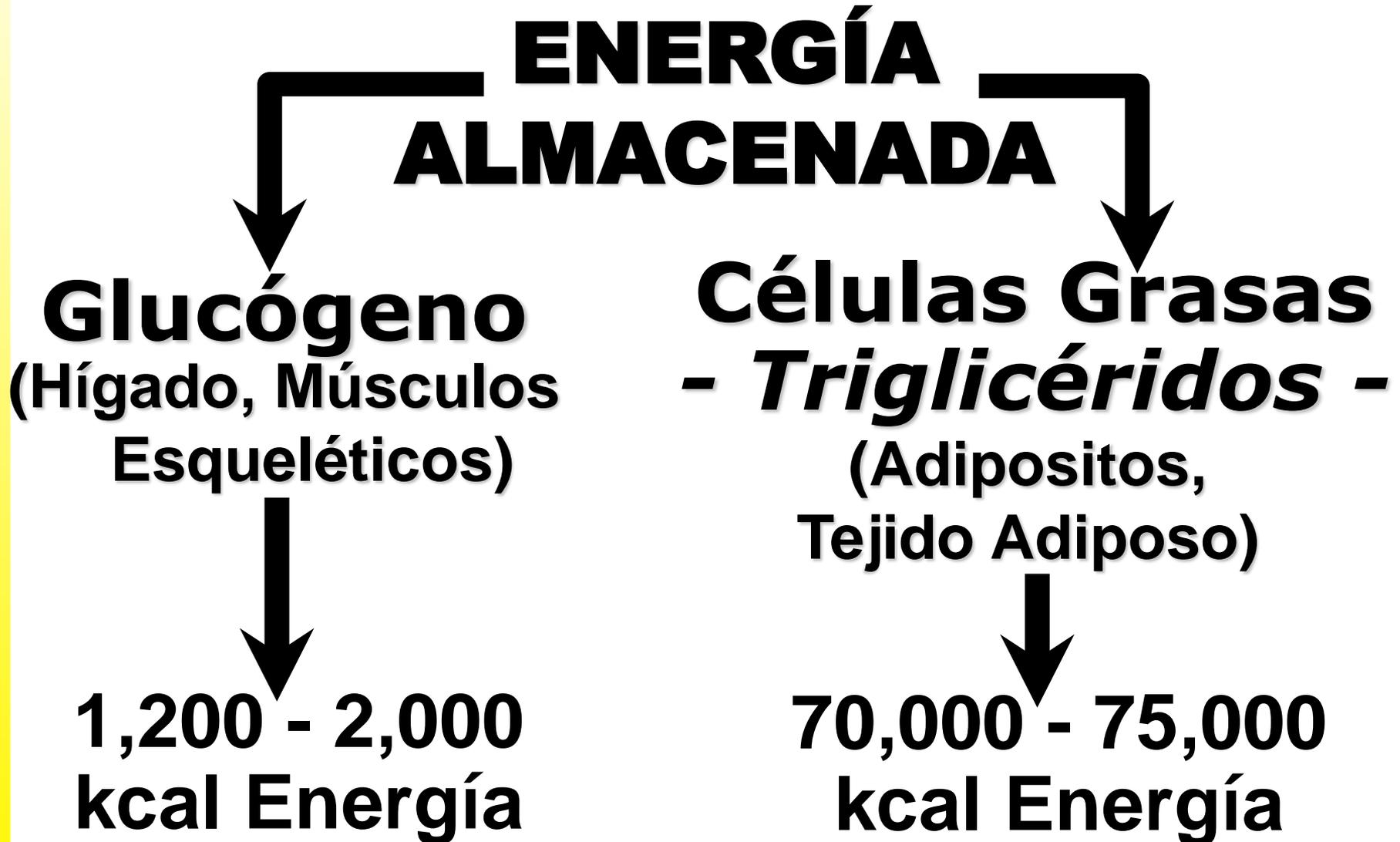
Macromoléculas:

CHO
PRO
Grasas

Sustratos:

ATP
PCr

Fuentes Energéticas



Fuentes Energéticas

- ◆ En descanso, el cuerpo utiliza hidratos de carbono y grasas para energía.
- ◆ Las proteínas proveen poca energía para la actividad celular, pero sirven de unidades estructurales para los tejidos del cuerpo.
- ◆ Durante un esfuerzo muscular de moderado a severo, el cuerpo dependerá principalmente de los hidratos de carbono como combustible.



Hidratos de Carbono

HIDRATOS DE CARBONO ($C_6H_{12}O_2$) (4 kcal/g)

Tipos

**Polisacáridos/
Complejos**

Glucógeno
(Reservas)

Hígado
(Hepático)

**Músculos
Esqueletales**
(Muscular)

2,000 kcal

Energía Rápida Deportes de Tolerancia
(Actividad Muscular Intensa)

**Monosacáridos/
Simples**

Glucosa

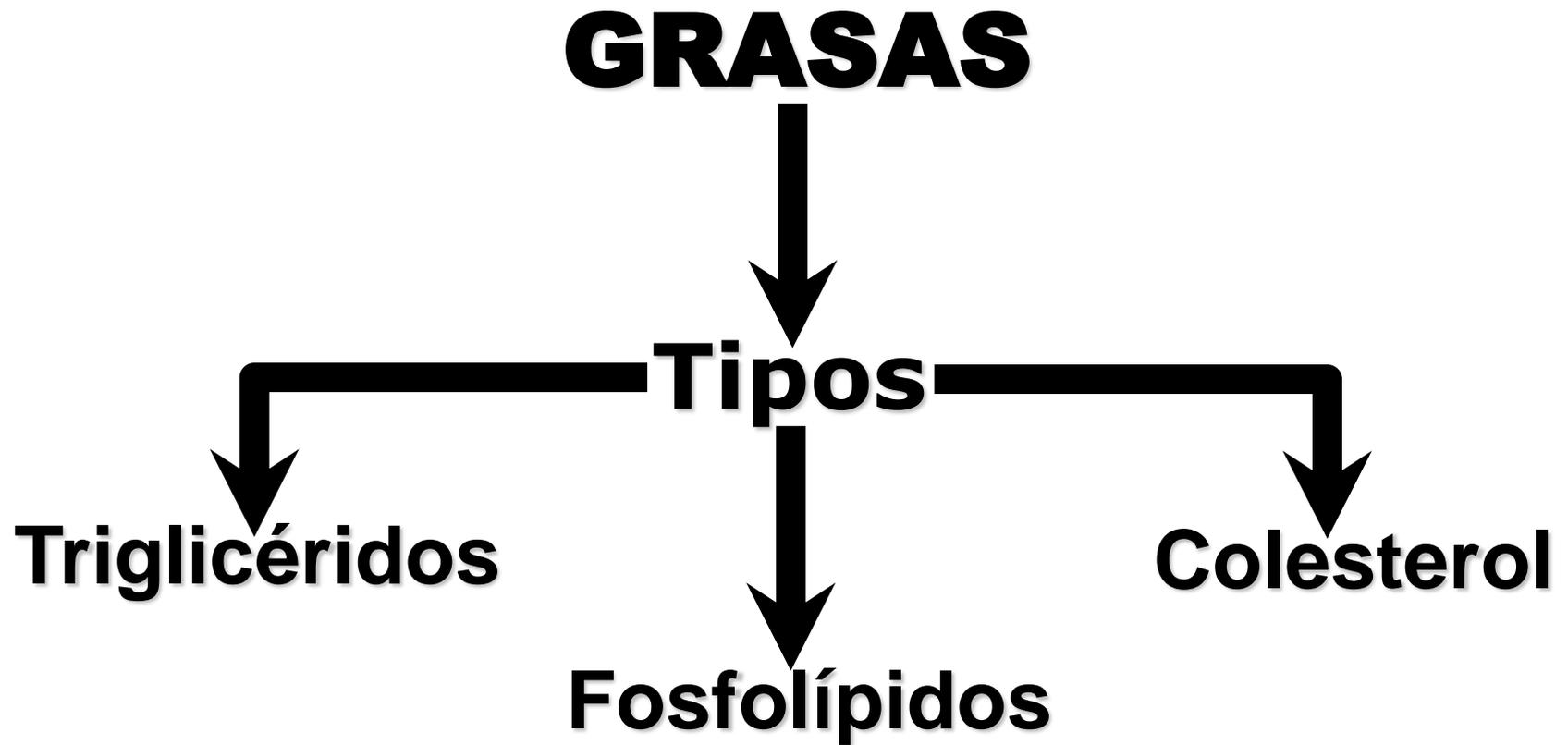
**Transportada
en la
Sangre**

Hidratos de Carbono

- ◆ Ampliamente disponibles (si se incluyen en la dieta) y fácilmente metabolizados por los músculos
- ◆ Una vez ingerido, se transporta como glucosa y se absorbe por los músculos e hígado, para luego convertirse en glucógeno
- ◆ El glucógeno almacenado en el hígado se convierte nuevamente en glucosa, según sea su demanda, y transportado por la sangre hacia los músculos donde es utilizado para formar ATP
- ◆ Las reservas de glucógeno son limitadas, lo cual puede afectar el rendimiento



Grasas



Grasas

GRASAS ($C_{16}H_{18}O_2$)

(9 kcal/g; 70,000 kcal Energía Acumulada)

Menos Accesible
por el
Metabolismo

Muy Lento
Ritmo de Liberación

Triglicéridos
(Almacenes)

*No Satisface Demandas
Actividad Muscular Intensa*

Degradan

(1) Glicerol (3) Ácidos Grasos Libras
(AGL)

Forma
ATP

Grasas

- ◆ Proveen energía substancial en reposo y durante una actividad prolongada de baja intensidad
- ◆ Los almacenes de grasa son más grandes que las reservas de hidratos de carbono
- ◆ Están menos accesibles para el metabolismo porque deben de ser reducidas a glicerol y ácidos grasos libres (AGL)
- ◆ Solamente los AGL son utilizados para formar ATP
- ◆ La grasa es una fuente de energía limitada debido a su ritmo de liberación de la energía



Reservas de Combustible y Energía en el Cuerpo

	g	kcal
Hidratos de Carbono		
Glucógeno hepático	110	451
Glucógeno muscular	500	2,050
Glucosa en líquidos cuerpo	15	62
Total	625	2,563
Grasas		
Subcutánea y visceral	7,800	73,320
Intramuscular	161	1,513
Total	7,961	74,833

Nota. Estos estimados son basados en una masa (peso) corporal promedio de 65 kg (143 lb) con 12% de grasa.

Proteínas

PROTEÍNAS (4 kcal/g)
Fórmula General: $C_n(H_2O)_n$

Conversiones

Gluconeogénesis
(Proteínas/Grasas se convierten en Glucosa)

Lipogénesis
(Proteínas se convierten en Grasas)

Tipos
(Estructural)

Unidades Básicas de las Proteínas

Deportes de Tolerancia/Prolongados

Proteínas Aportan entre 5 y 10 % de Energía

Proteínas

- ◆ Pueden ser utilizadas como una fuente de energía si se convierten en glucosa vía **gluconeogenesis**
- ◆ Pueden generar AGL durante estados de inanición (hambre) a través de la **lipogénesis**
- ◆ Solamente las unidades básicas de las proteínas— aminoácidos—pueden ser utilizados para energía: ~4.1 kcal de energía per g de proteína



Enzimas

ENERGÍA PARA LA ACTIVIDAD CELULAR



Ritmo/Control de Liberación de la Energía Libre



**Efecto de
Acción de Masa**
(Influencia para la Disponibilidad de Energía)



Elección Fuente Primaria de Combustible



Dependencia de



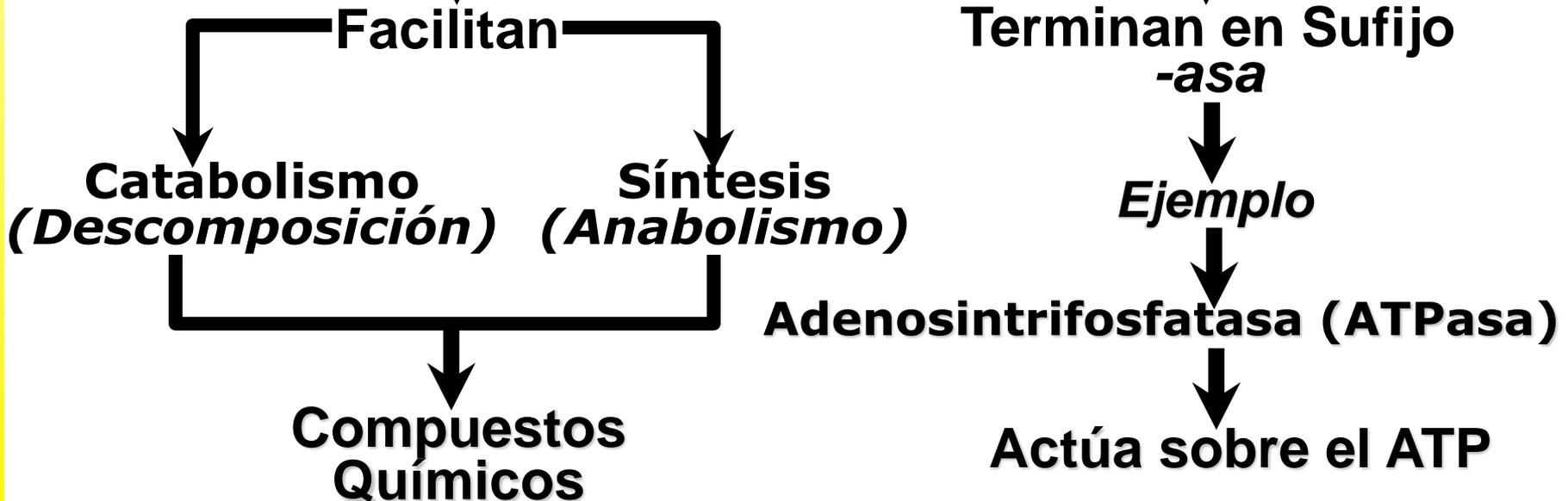
Este Tipo de Combustible Particular

Enzimas

ENERGÍA PARA LA ACTIVIDAD CELULAR

Ritmo/Control de Liberación de la Energía Libre

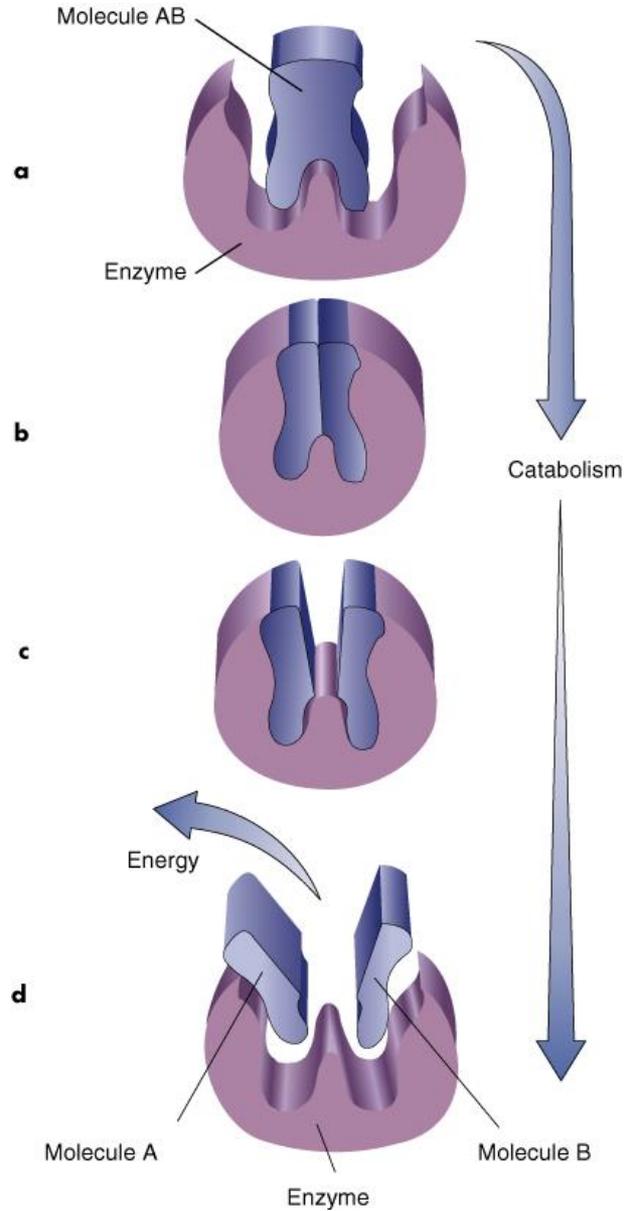
ENZIMAS



Enzimas

- ◆ Moléculas de proteínas específicas que controlan el degradamiento de compuestos químicos
- ◆ Comúnmente, los nombres son complejos, pero siempre terminan en “asa”
- ◆ Trabajan a diferentes ritmos y pueden limitar una reacción
- ◆ Las enzimas glucolíticas actúan en el citoplasma, mientras las enzimas oxidativas actúan en la mitocondria

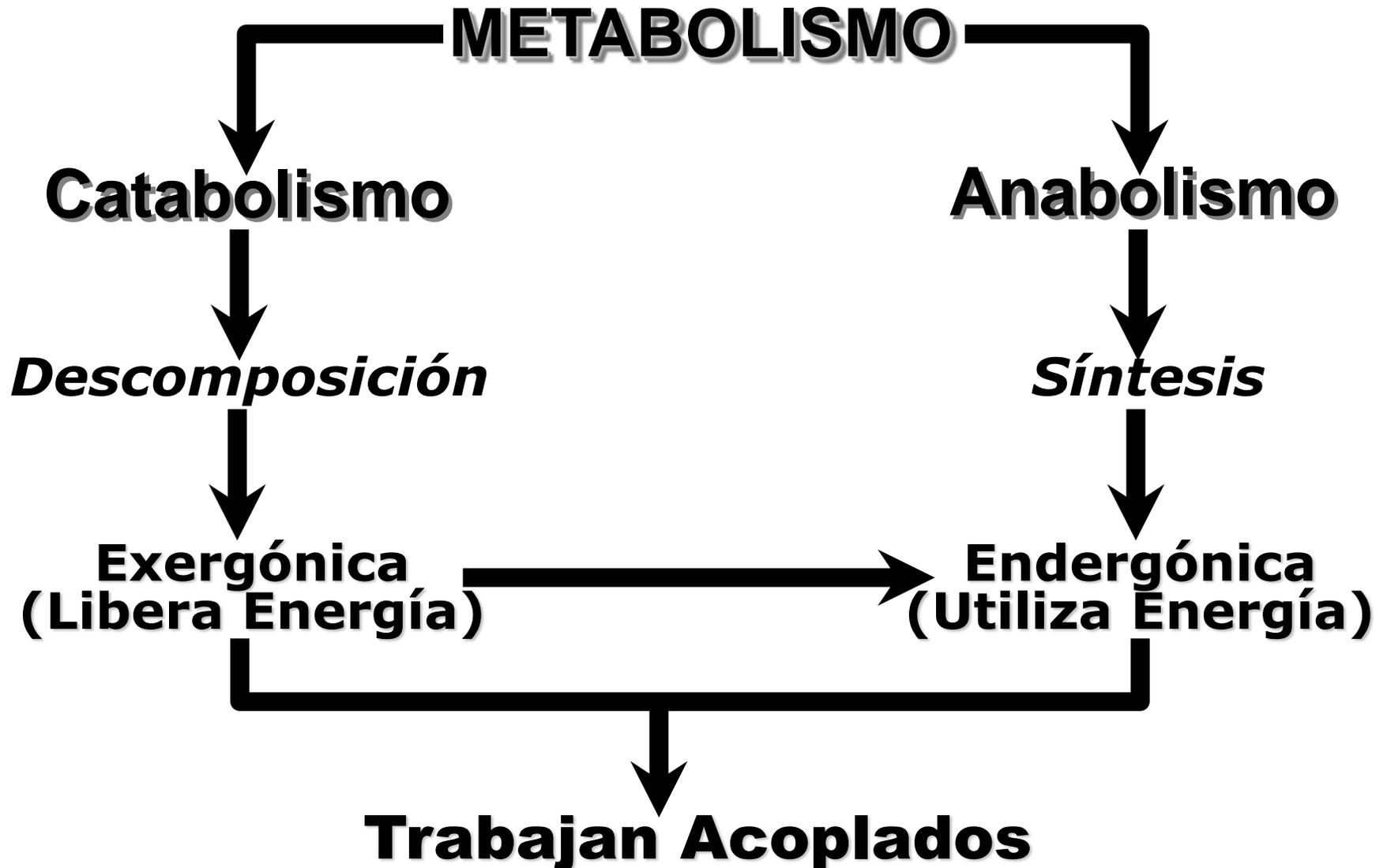
ACCIÓN DE LAS ENZIMAS



Energía para el Metabolismo Celular

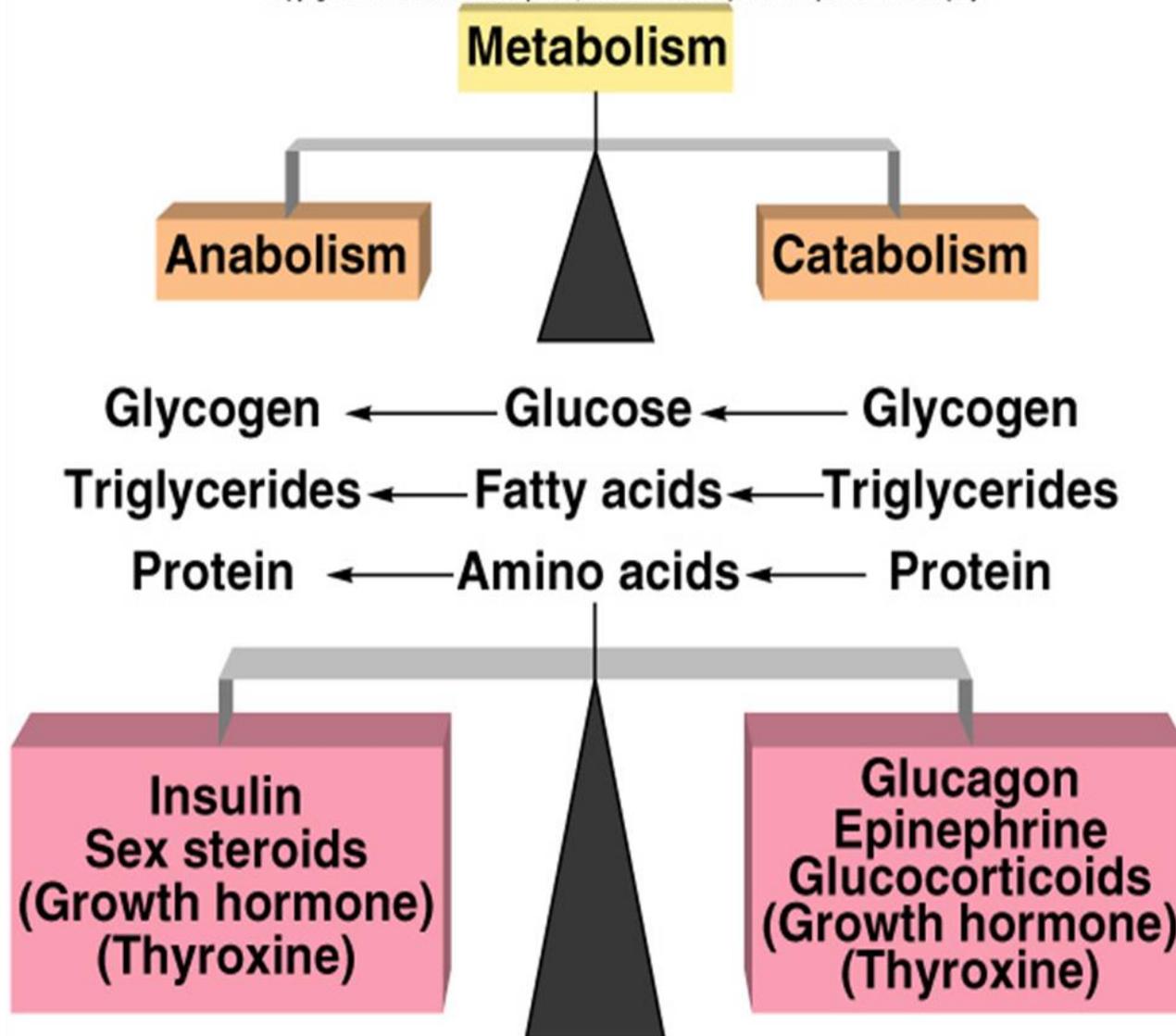
- ♦ Los hidratos de carbono, grasas, y proteínas proveen el combustible que nuestro cuerpo convierte en ATP.
- ♦ EL ATP es el compuesto de alta energía liberado y almacenado en nuestras células.
- ♦ Los hidratos de carbono y las proteínas proveen alrededor de 4.1 kcal/g mientras que las grasas suministran aproximadamente 9.4 kcal/g.
- ♦ La energía derivada de los hidratos de carbono es mas accesible para los músculos que las proteínas o grasas.

Sistemas Energéticos Básicos



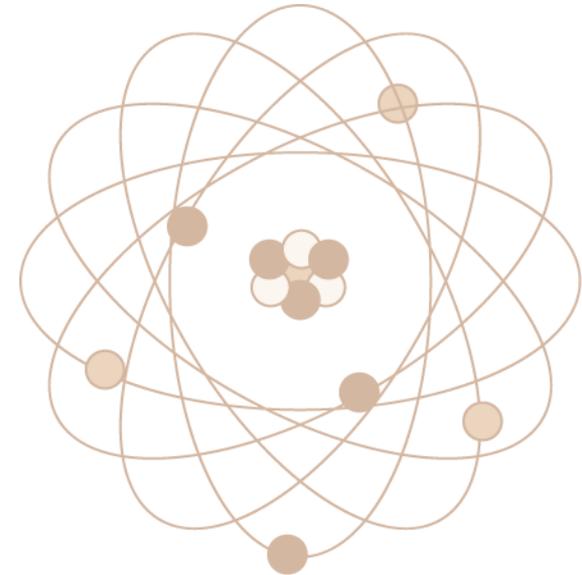
Balance entre Anabolismo y Catabolismo

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Sistemas Energéticos Básicos

1. Sistema de ATP-PCr (sistema fosfagénico)—citoplasma
2. Sistema glucolítico—citoplasma/sarcoplasma
3. Sistema oxidativo—mitocondria o dínamo de la célula



Consumo de ALIMENTOS (CHO, Grasas, PRO)

Célula

Metabolismo

Anaeróbico
(Sin Oxígeno
No Oxidativo)

ATP-PCr
(Fosfagénico)

Glucólisis
Anaeróbica

Aeróbico

(Con Oxígeno, Oxidativo)

Glucólisis
Aeróbica

Ciclo de Krebs
(Ciclo de Ácido Cítrico)

Cadena de
Transporte
Electrónico

Combustibles Metabólicos/Sustratos/Sustancias Nutricias/Nutrimientos
[Fosfocreatina (PCr), Glucosa, Glucógeno, Ácidos Grasos Libres, Aminoácidos]

Reacciones Acopladas

Fosforilación

(Almacenaje de Energía formando ATP a partir de otras fuentes Químicas)

Reacción Acoplada



(Catabolismo)

(COMIDA: CHO, Grasas, PRO)

ATP

[Adenina + Ribosa + Tres Fosfatos (Pi)]



Energía Libre

Trabajo Biológico (Ejemplo) → Contracción Muscular

Reciclar para
formar ATP

(también se puede)

MOLÉCULA DE ATP



a



b

Sistema de ATP-PCr

- ◆ Este sistema puede prevenir el agotamiento de la energía al rápidamente reformar ATP de ADP y P_i .
- ◆ Este proceso es anaeróbico—ocurre sin oxígeno.
- ◆ 1 mol de ATP se produce a partir de 1 mol de de fosfocreatina (PCr). La energía derivada del degradamiento de la PCr no se usa para el trabajo celular, sino exclusivamente para regenerar el ATP.



Sistemas Energéticos Básicos

**SISTEMA DE ATP-PCr
(FOSFÁGENO/FOSFAGÉNICO)
(3 - 15 seg.)**



**Alimentos
(CHO, Grasas, PRO)**



*(Catabolismo- Libera **ENERGÍA** para:)*



(Creatina + Pi + **ENERGÍA \xrightarrow{CK} PCr)**



Fosfocreatina (PCr)



(Catabolismo)

Forma



(Anabolismo)

ATP



(Catabolismo)

ENERGÍA Libre



**Contracción
Muscular**

**Reacción
Acoplada**

Sistema de ATP-PCr

ACTIVIDAD MUSCULAR INTENSA/EXPLOSIVA (ANAERÓBICA)
(Ej: *Eventos de Velocidad, Salto a lo Alto*)

Primeros pocos Segundos
(3 a 15 segundos)

Fosfocreatina (PCr)

(Catabolismo)



Utilizada para Restaurar el ATP

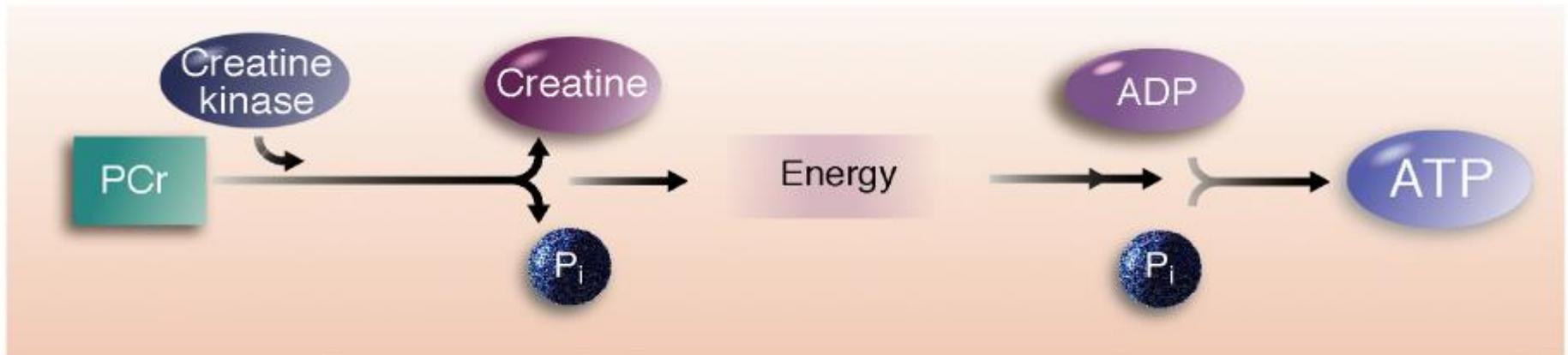


Energía Libre

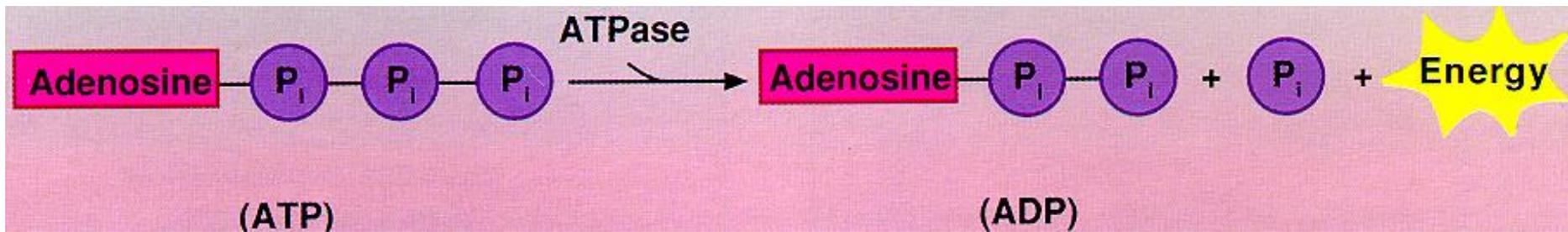
Trabajo Biológico

(Ej: *Contracción Muscular, Deportes Vigorosos de 3 - 15 Segundos*)

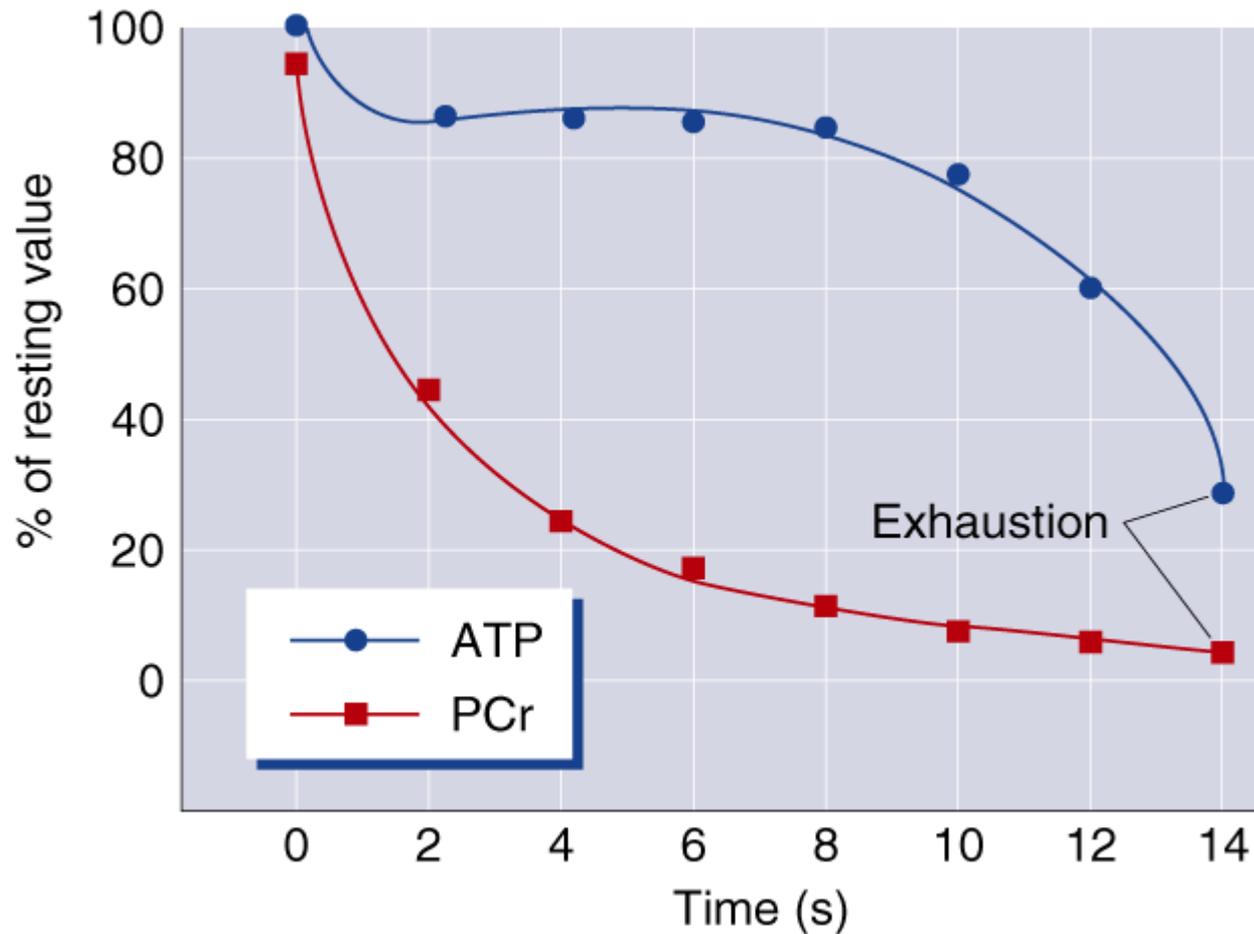
RECREANDO ATP CON PCr



RECREANDO ATP CON PCr



ATP Y PCr DURANTE EVENTOS DE VELOCIDAD



Degradamiento y Síntesis del Glucógeno

Glucólisis—Degradamiento de la glucosa; puede ser anaeróbica o aeróbica

Glucogénesis—Proceso mediante el cual el glucógeno es sintetizado de la glucosa para ser almacenado en el hígado

Glucogenólisis—Proceso mediante el cual el glucógeno es descompuesto en glucosa-1-fosfato para ser utilizado por los músculos



Sistema Glucolítico

SISTEMA GLUCOLÍTICO (GLUCÓLISIS ANAERÓBICA) *(1 - 3 minutos)*

Alimentos (CHO)

Glucosa / Glucógeno

Glucólisis
*(Descomposición/Lisis de la Glucosa
mediante Enzimas Glucolíticas)*

Forma
(Vía Reacciones Acopladas)

ATP

Sistema Glucolítico

SISTEMA GLUCOLÍTICO (GLUCÓLISIS ANAERÓBICA)

(Toma lugar en:)

Citoplasma/Sarcoplasma

(Requiere:)

**12 Reacciones Enzimáticas
para la
Descomposición del Glucógeno
en
Ácido Láctico**

Ejercicios de Intensidad Elevada (Anaeróbicos) (Ej: Velocidad – 100 m)

Primeros Minutos (1 - 3 minutos)

Alimentos (CHO)

(Se Digieren y Catabolizan)

Forma/Sintetiza (Anabolismo)

Glucosa-1-Fosfato

(Insulina)

Viaja por la Sangre (99%)

(Su Catabolismo Forma) → ATP

(Catabolismo del ATP)

Glucogénesis (Síntesis- Anabolismo - de Glucógeno) → Forma

Glucógeno Hepático (Hígado)

(cuando se necesita Energía)

Glucogenólisis (Glucagón) (Degradamiento- Catabolismo - del Glucógeno)

(Forma)

Glucosa-1-Fosfato

[ATP \xrightarrow{ATPasa} ADP + Pi + **Energía**]

(Anabolismo)

Glucosa-6-Fosfato

(Enzimas Aeróbicas)

(Anabolismo)

[ADP + Pi + **Energía** \xrightarrow{ATPasa} ATP] *Reacciones Acopladas*

Ácido Pirúvico → Sin O₂

Ácido Láctico

Ganancia Neta

1 Mol de Glucosa

↓ (Catabolizado)

2 Moles de ATP

1 Mol de Glucógeno

↓ (Catabolizado)

3 Moles de ATP

SISTEMA GLUCOLÍTICO (GLUCÓLISIS ANAERÓBICA)

↓ *(Catabolismo, forma:)*

Glucosa-6-Fosfato

↓ *(Cataboliza, forma:)*

Ácido Pirúvico

Ausencia de O₂

↓ *(Forma Desecho Metabólico:)*

Ácido Láctico

↓

Se Acumula en

**Músculos Esqueletales
(Intramuscular)**

**Líquidos Corporales
(Ej: Sangre)**

En un Evento de Velocidad (Ej: 100m - 800m)

↑ **Ácido Láctico
(25 mmol/kg)**

↓ *(Causa)*

**Acidosis Metabólica
(↓pH; Acidificación)**

**Dificulta Función
Enzimática Glucolítica**

↓ **Catabolismo Glucógeno**

↓ **Disponibilidad de Energía**

↓ **Capacidad Combinar el
Calcio de las Fibras**

↓ **Impide la
Contracción Muscular**

FATIGA

Sistema Glucolítico

GLUCÓLISIS ANAERÓBICA

↓
Ácido Láctico
($C_3H_6O_3$)

↓ (*Disocia rápidamente*)

Libera H^+

↓
Compuesto Restante se Une con

↓ ↓
Na⁺ ó K⁺

↓ (*Forma*)

Sal
(LACTATO)

Sistema Glucolítico

- ◆ Se requieren 12 reacciones enzimáticas para degradar la glucosa y glucógeno en ATP
- ◆ La glucólisis que ocurre en el sistema glucolítico es generalmente anaeróbica (sin oxígeno)
- ◆ El ácido pirúvico producido por la glucólisis anaeróbica se convierte en ácido láctico
- ◆ 1 mol de glucógeno produce 3 moles de ATP; 1 mol of glucosa produce 2 moles de ATP. La diferencia se debe al hecho que se requiere 1 mol de ATP para convertir la glucosa en glucosa-6-fosfato, mientras que el glucógeno se convierte en glucosa-1-fosfato y luego a glucosa-6-fosfato, sin la pérdida de 1 ATP.

¿Sabía Usted...?

Las acciones combinadas de los sistemas ATP-PCr y glucolítico permiten a los músculos generar fuerza en la ausencia de oxígeno; por lo tanto, estos dos sistemas energéticos representan los principales proveedores de energía durante los primeros minutos de un ejercicio de alta intensidad.



Sistema Oxidativo

1 Mol de Glucosa o AGL

Metabolismo

Energía Liberada

40 %

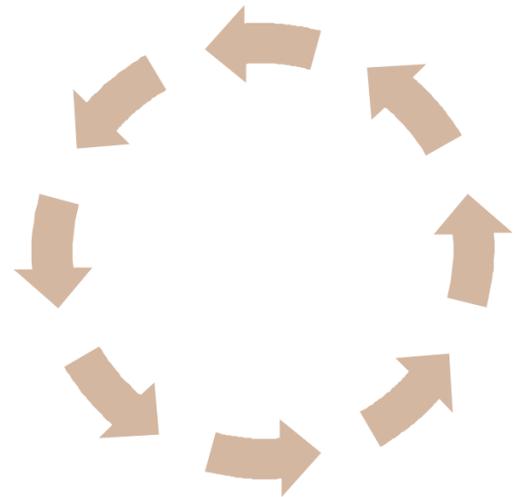
**Capturada para Formar
ATP**

60 %

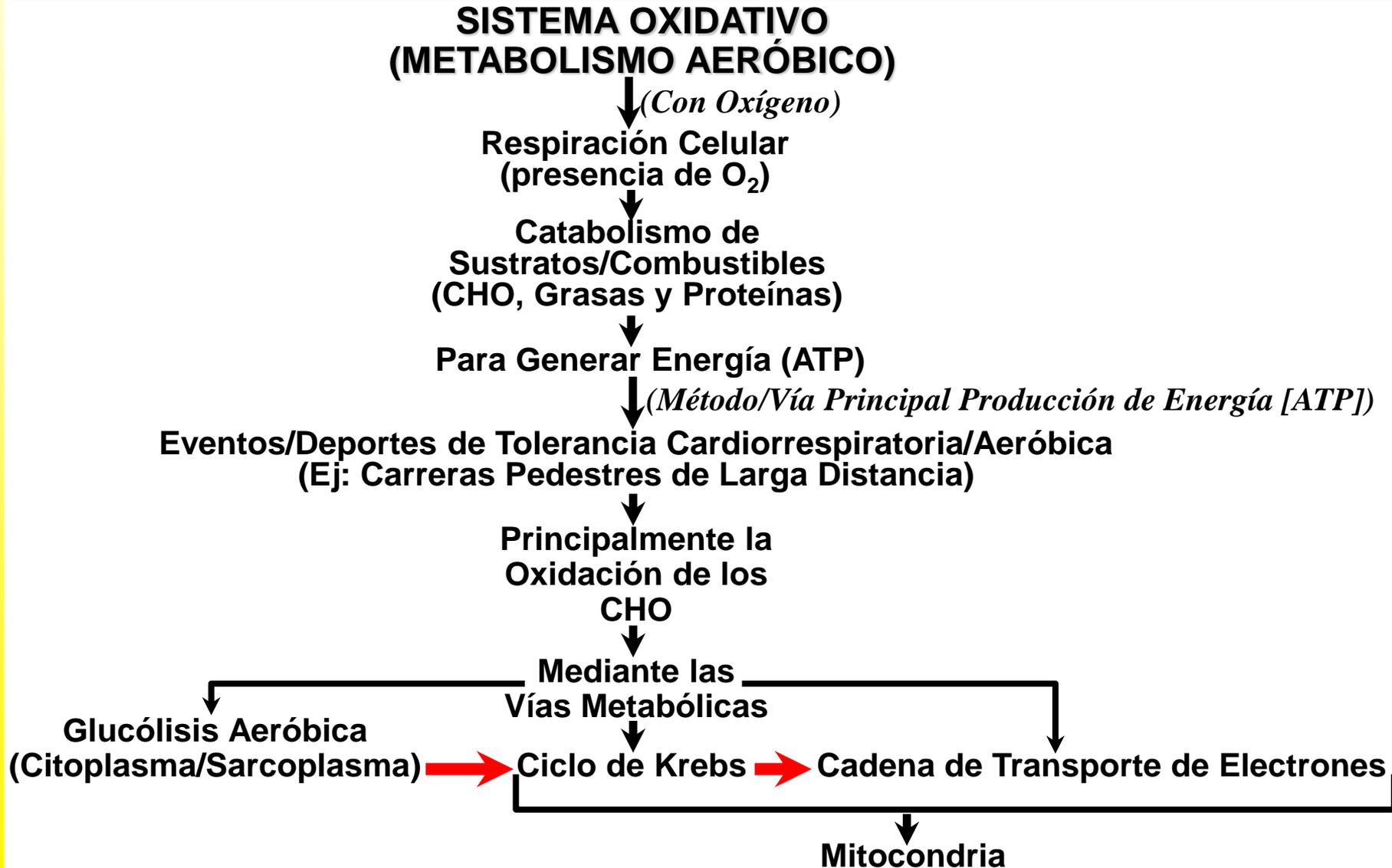
**Disipada como
Calor**

Producción Oxidativa de ATP

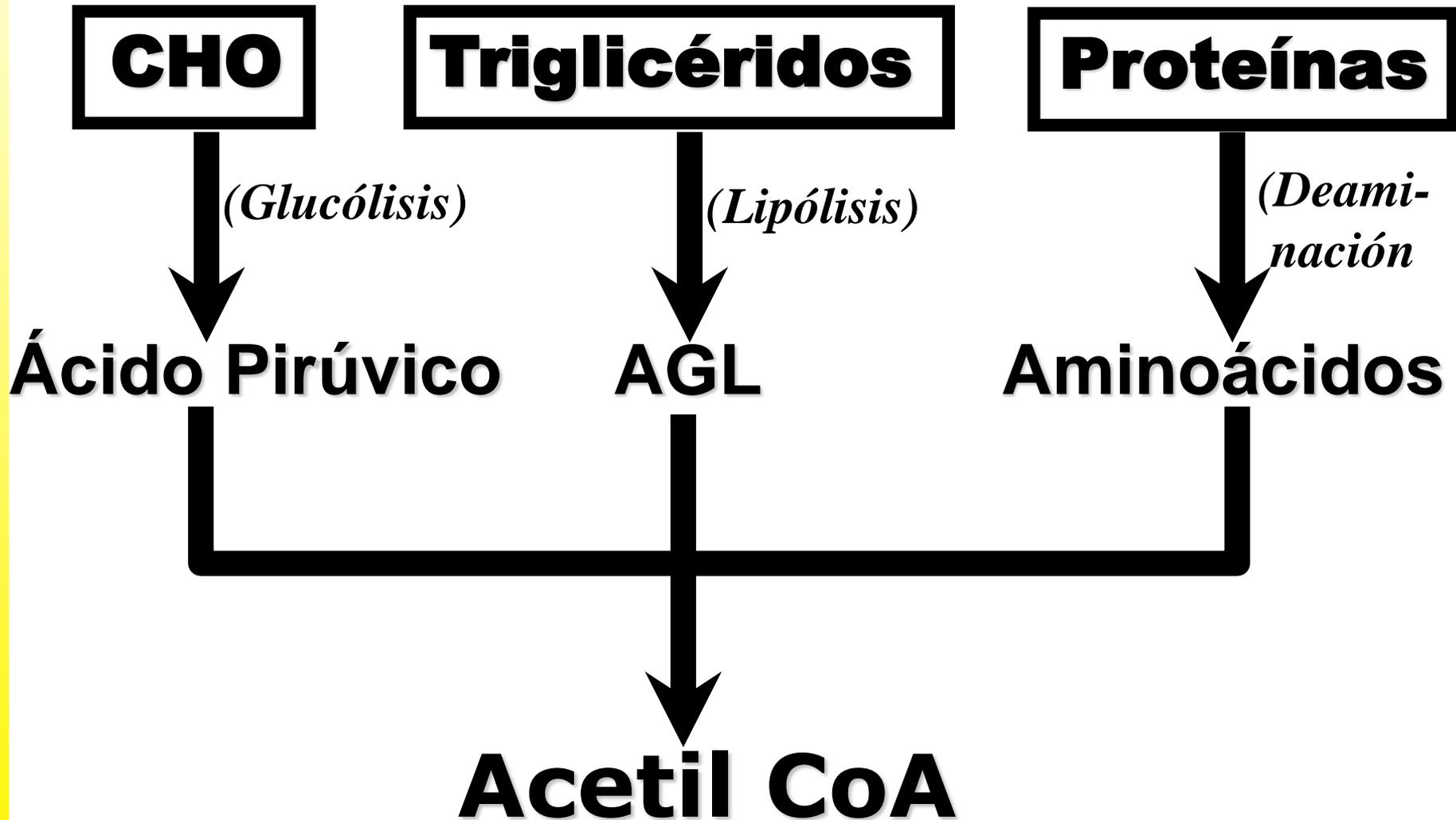
1. Glucólisis Aeróbica—citoplasma
2. Ciclo de Krebs—mitocondria
3. Cadena de transporte de electrones—mitocondria



Sistema Oxidativo

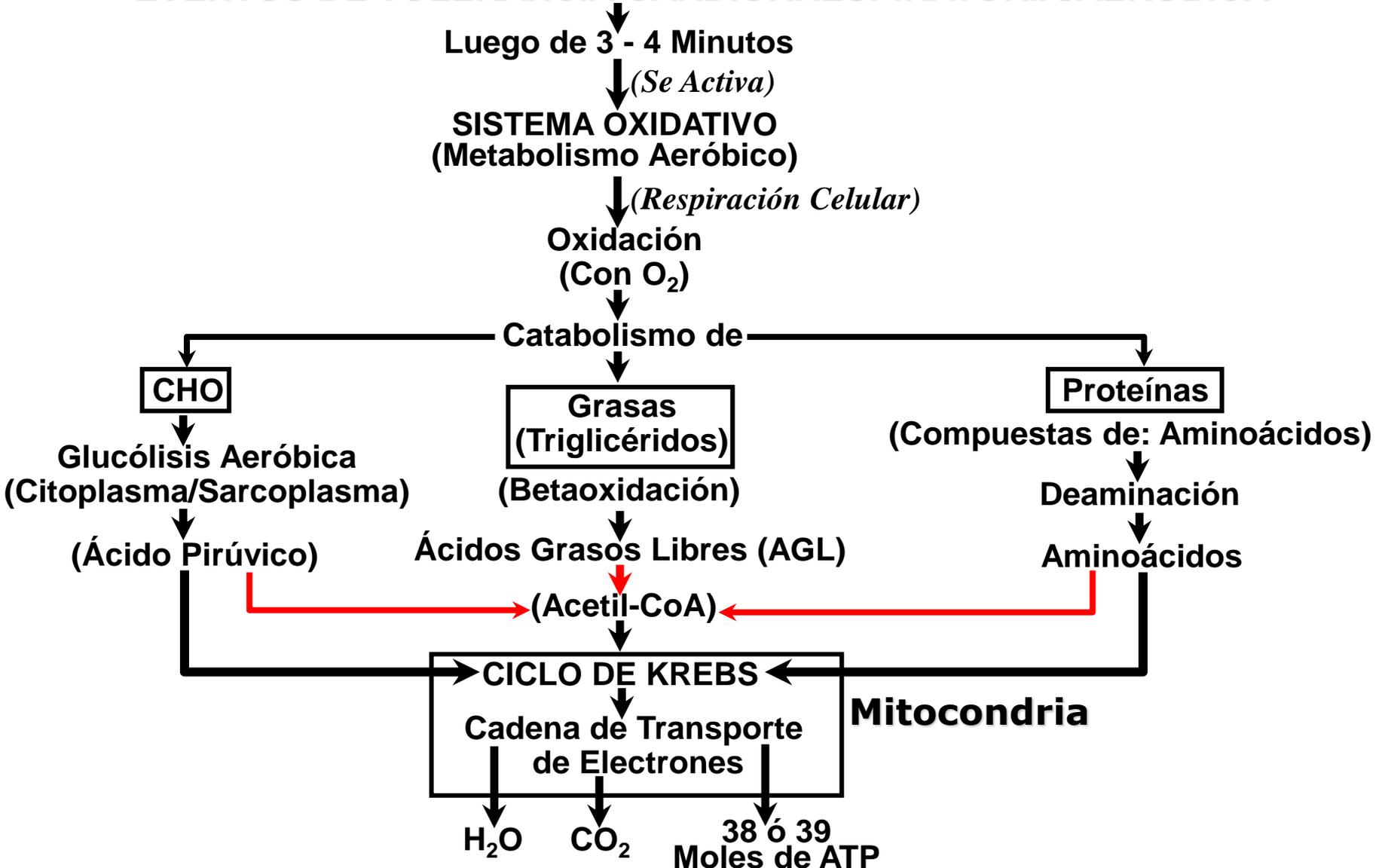


Sistema Oxidativo

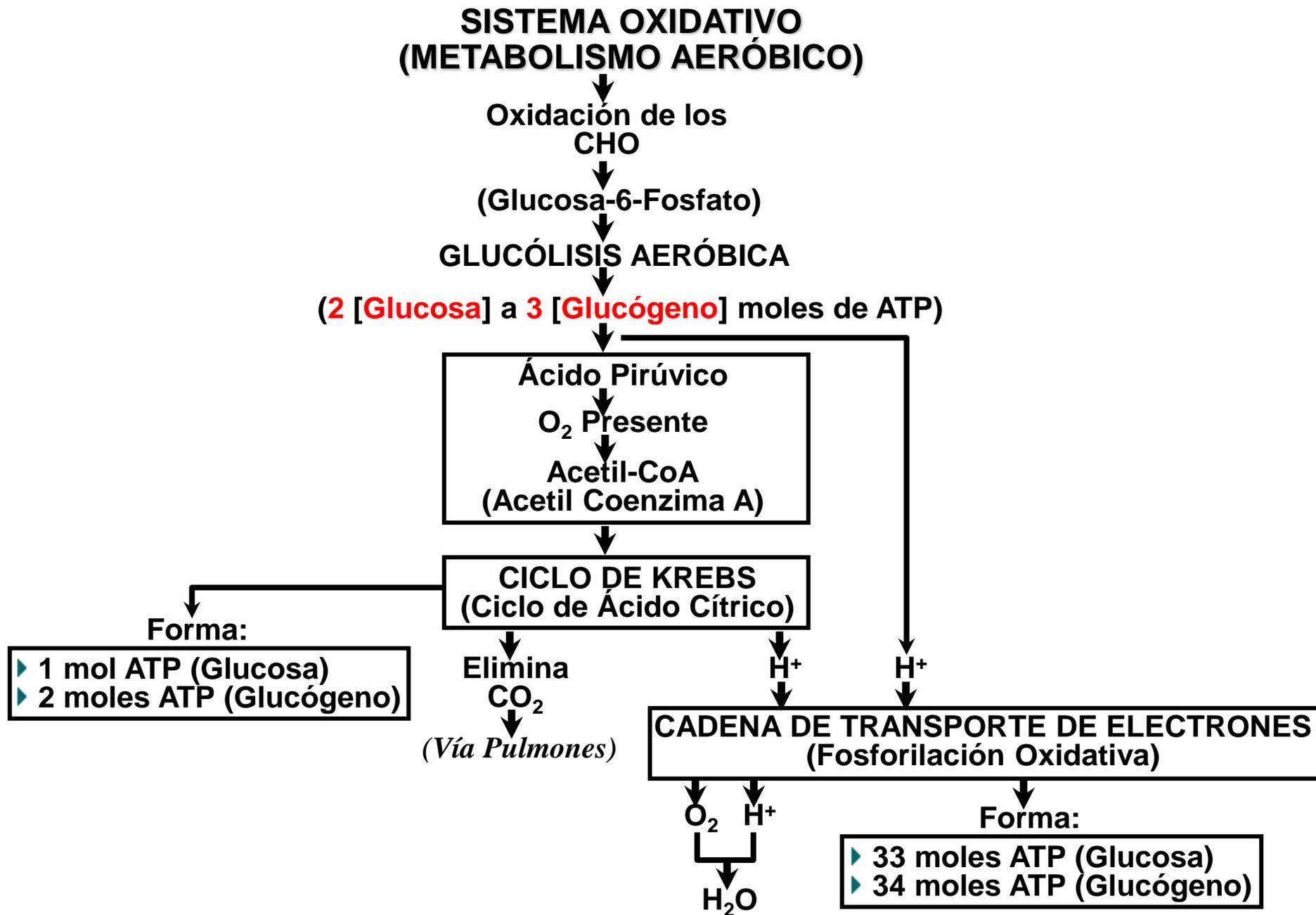


Sistema Oxidativo

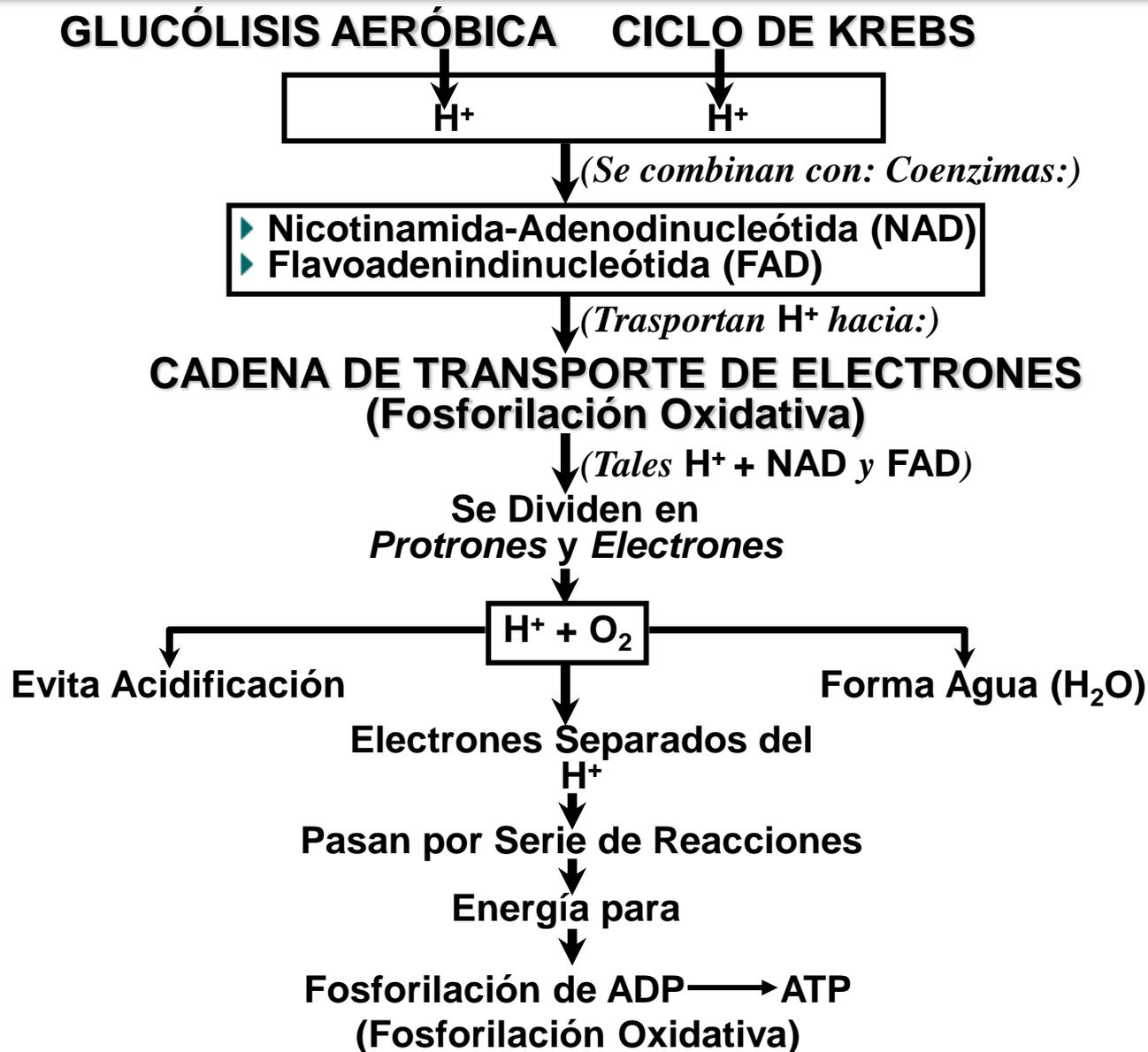
EVENTOS DE TOLERANCIA CARDIORRESPIRATORIA/AERÓBICA



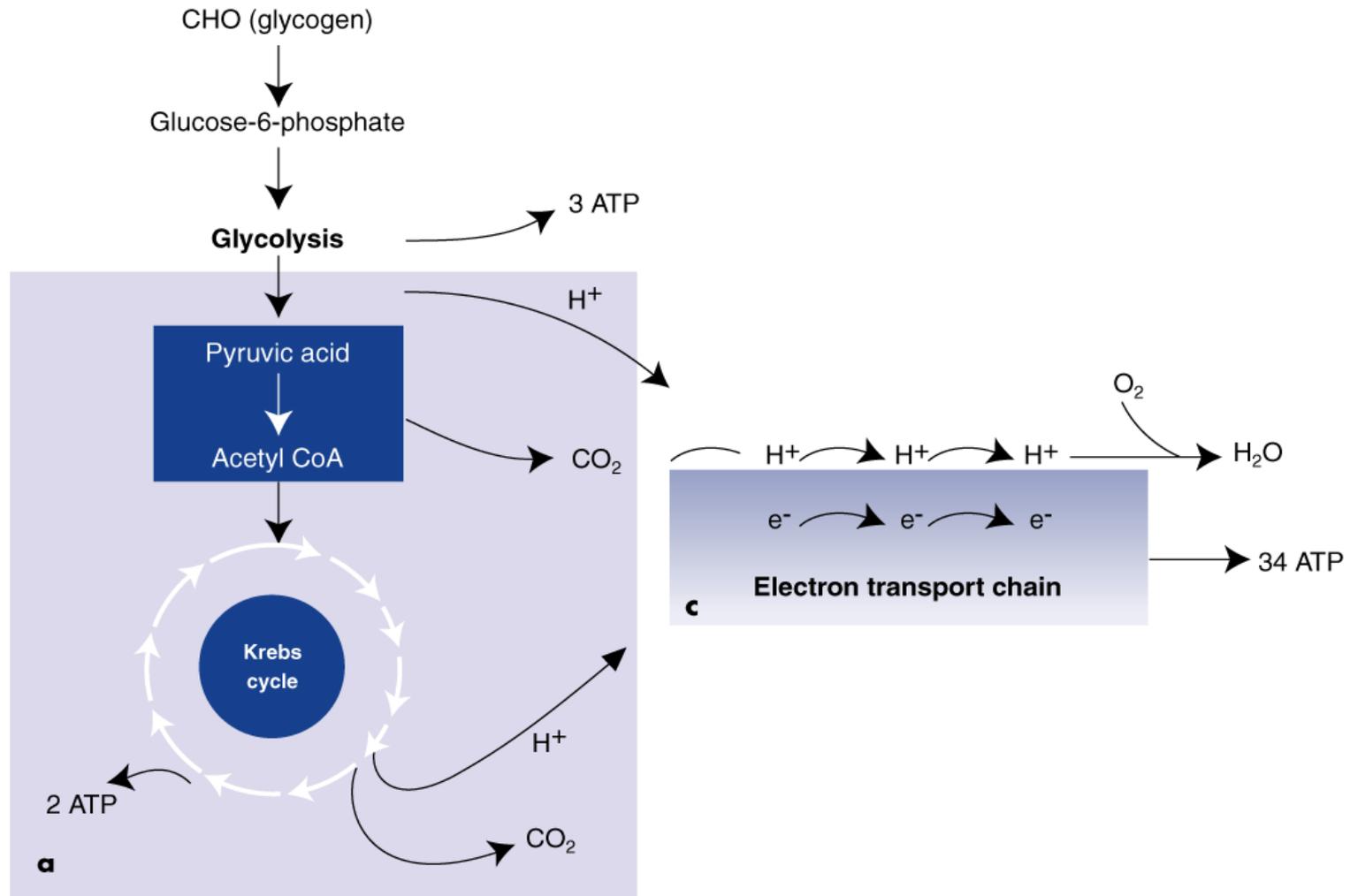
Sistema Oxidativo



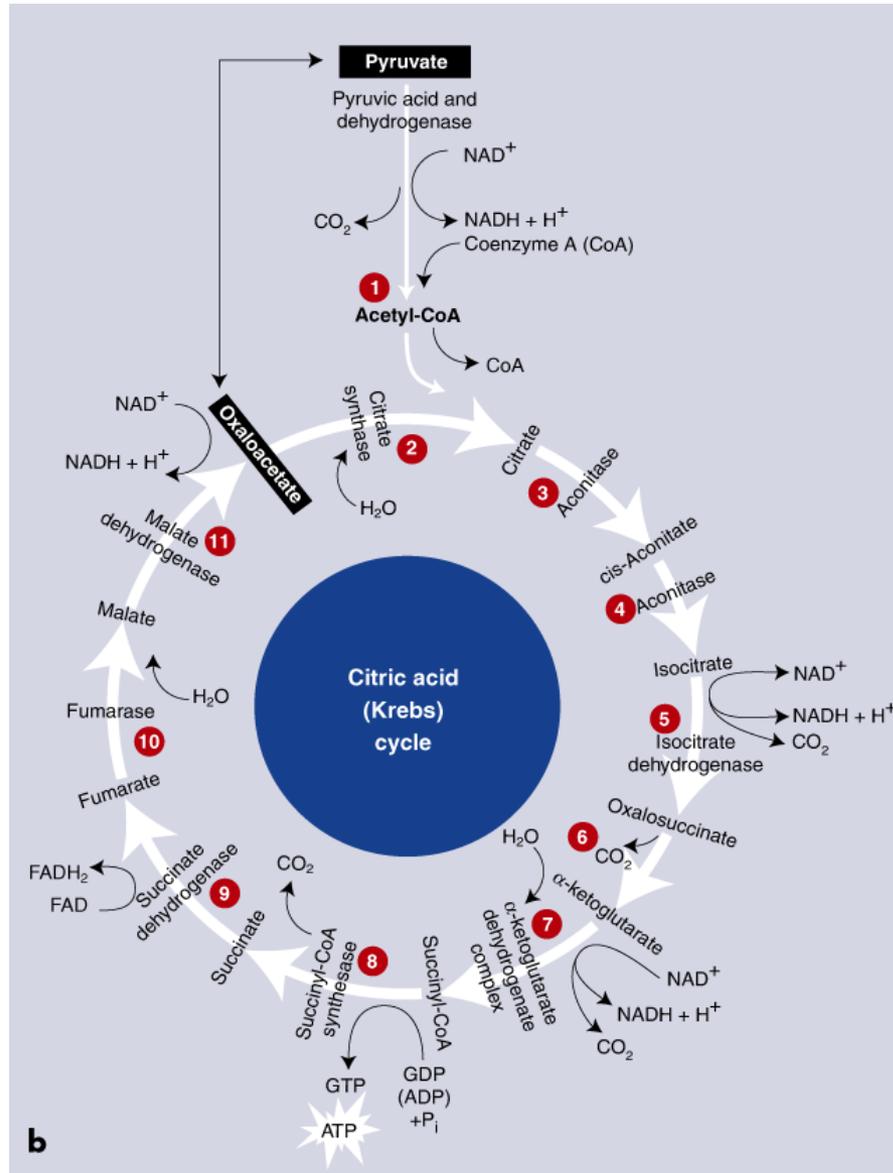
Sistema Oxidativo



GLUCÓLISIS AERÓBICA Y LA CADENA DE TRANSPORTE DE ELECTRONES



CICLO DE KREBS



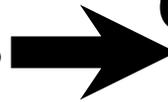
Sistema Oxidativo

SISTEMA OXIDATIVO (METABOLISMO AERÓBICO)

**Glucólisis
Aeróbica**



Ciclo de Krebs



**Cadena de Transporte
de Electrones**

*Producción Neta/Total de Energía (ATP)
a partir de
CHO*

- ▶ **Glucógeno** → **39 Moléculas de ATP**
- ▶ **Glucosa** → **38 Moléculas de ATP**
(1 mol ATP *(Usado para convertirse en)* → **Glucosa-6-Fosfato**)

Sistema Oxidativo

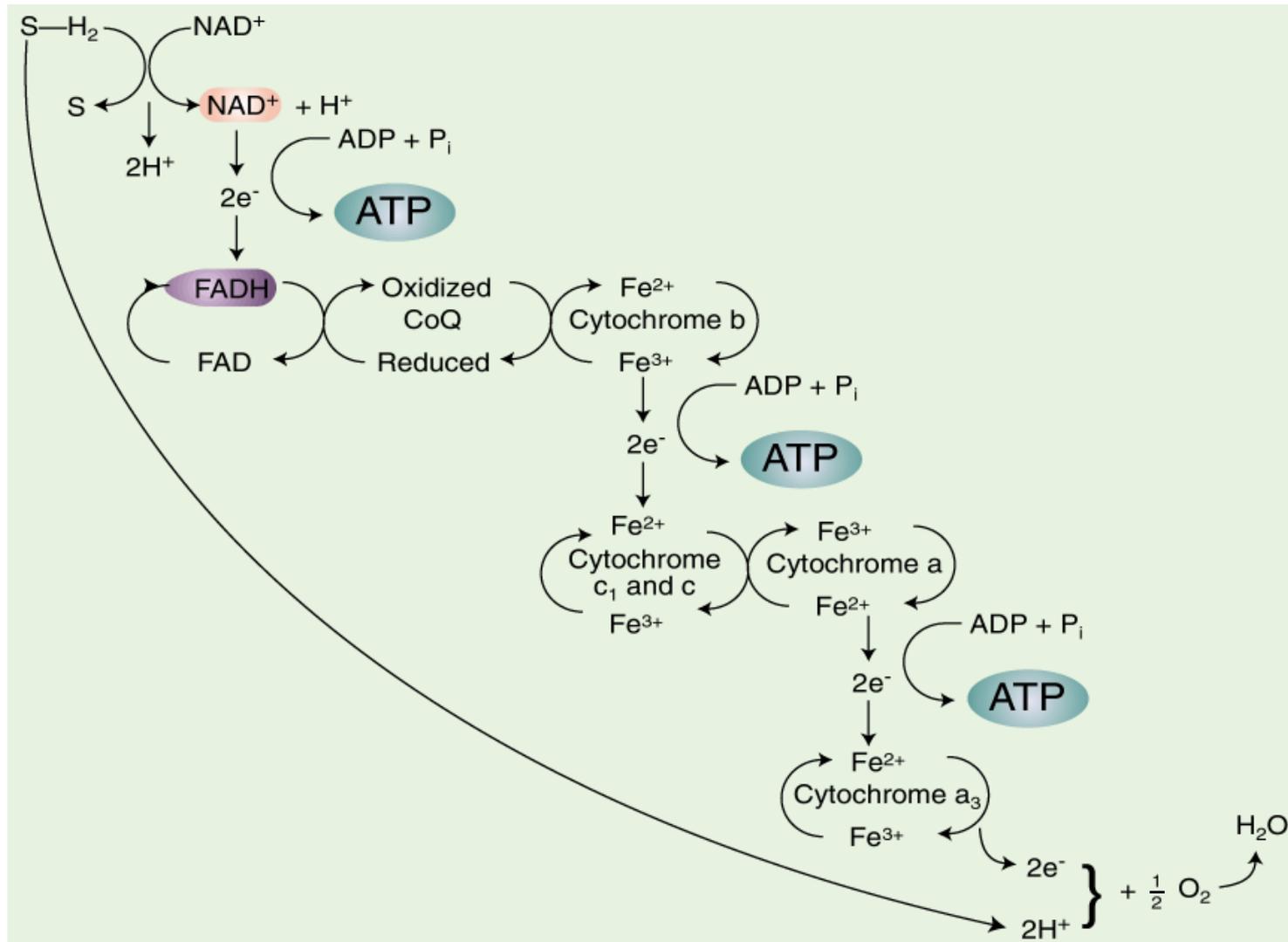
- ◆ Depende del oxígeno para el degradamiento de los combustibles para la liberación de energía
- ◆ Produce ATP en las mitocondrias de las células
- ◆ Puede producir mucho más energía (ATP) que los sistemas anaeróbicos
- ◆ Representa la principal vía para la producción de energía durante eventos de tolerancia aeróbica



Oxidacion de los Hidratos de Carbono

1. El ácido pirúvico de la glucólisis se convierte en acetil coenzima A (acetil CoA).
2. El acetil CoA entra en el ciclo de Krebs y forma 2 ATP, bióxido de carbono e hidrógeno.
3. Los hidrógenos en la célula se combinan con dos coenzimas que lo transportan hacia la cadena de transporte de electrones.
4. La cadena de transporte de electrones recombina los átomos de hidrógeno para producir ATP y agua.
5. Una molécula de glucógeno puede generar hasta 39 moléculas de ATP.

FOSFORILACIÓN OXIDATIVA



Producción de Energía derivado de la Oxidación del Glucógeno Hepático (Hígado)

Etapas de los procesos	Directo	Vía fosforilación Oxidativa^a
Glucólisis (glucosa a ácido pirúvico)	3	4-6 ^b
Ácido pirúvico a acetil coenzima A	0	6
Ciclo de Krebs	2	22
Subtotal	5	32-34
Total		37-39

^aSe refiere al trifosfato de adenosina (ATP) producido durante la transferencia de los H⁺ y electrones hacia la cadena de transporte de electrones. ^bLa producción de energía difiere, dependiendo de cuál coenzima es la reducida, es decir, si es la nicotinamida adenina dinucleótido (NADH) o la flavina adenina dinucleótido (FADH), la cual será la molécula portadora encargada de transportar el electrón a través de la membrana mitocondrial y la cadena de transporte de electrones, donde NADH produce hasta 39 moléculas de ATP y FADH 37 moléculas de ATP.

TRIGLICÉRIDOS

(Almacenes de: Células Grasas en Fibras Esqueletales)

↓ (Enzima: LIPASA)

Lipólisis

Degrada Triglicéridos en

1 Molécula: GLICEROL

3 Moléculas: ÁCIDOS GRASOS LIBRES (AGL)

↓ (Transportados por)

Sangre

(↑↑ Concentración de AGL)

↓ (Entran por difusión a las)

Fibras Musculares

Mitocondrias

AGL Activados Enzimáticamente
con Energía del ATP

Catabolismo Enzimático de los
AGL
(Betaoxidación)

Ácido Acético

↓ (Convierte en)

Acetil CoA

CICLO DE KREBS

↓ H⁺

CADENA DE TRANSPORTE DE ELECTRONES

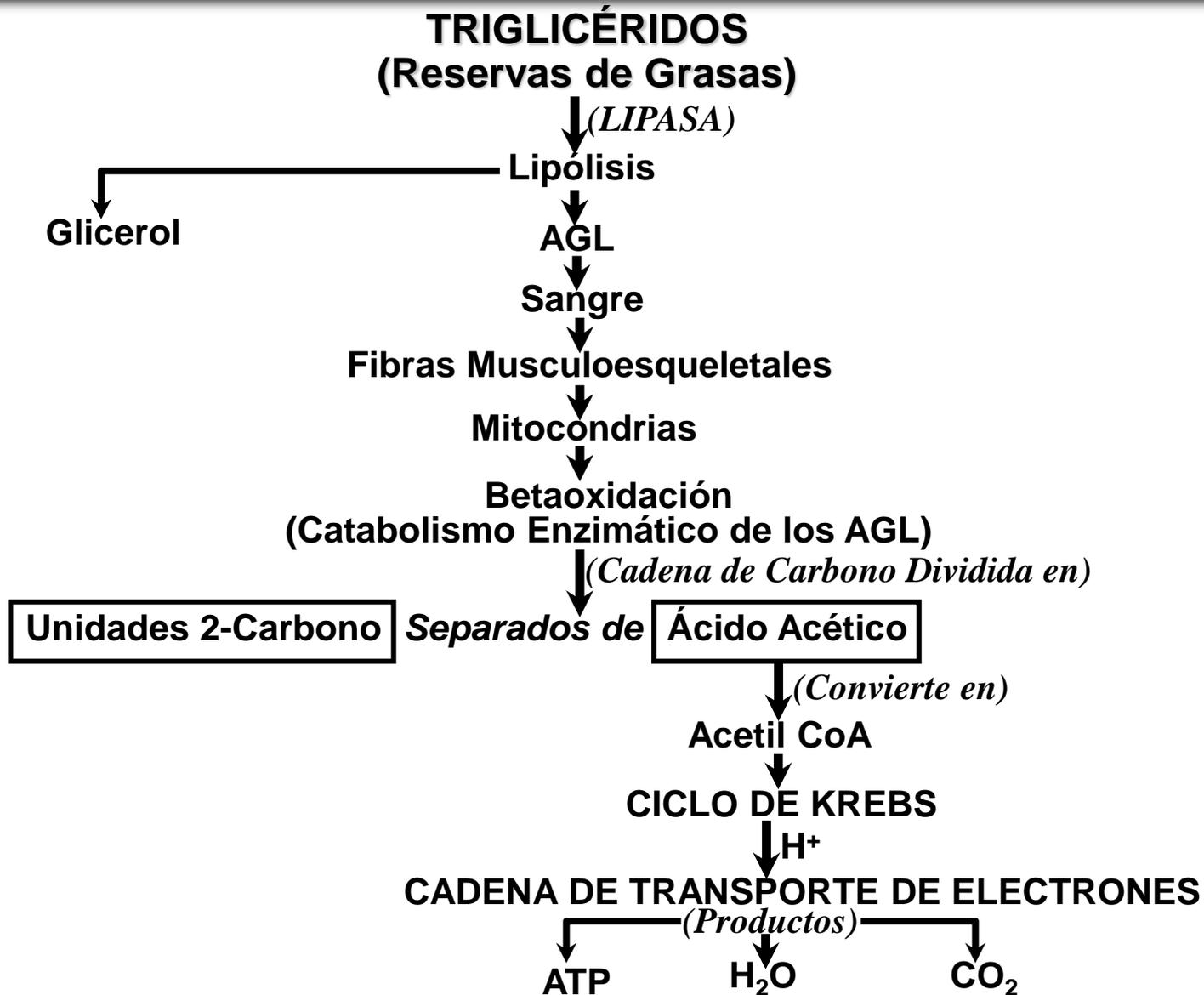
(Productos)

ATP

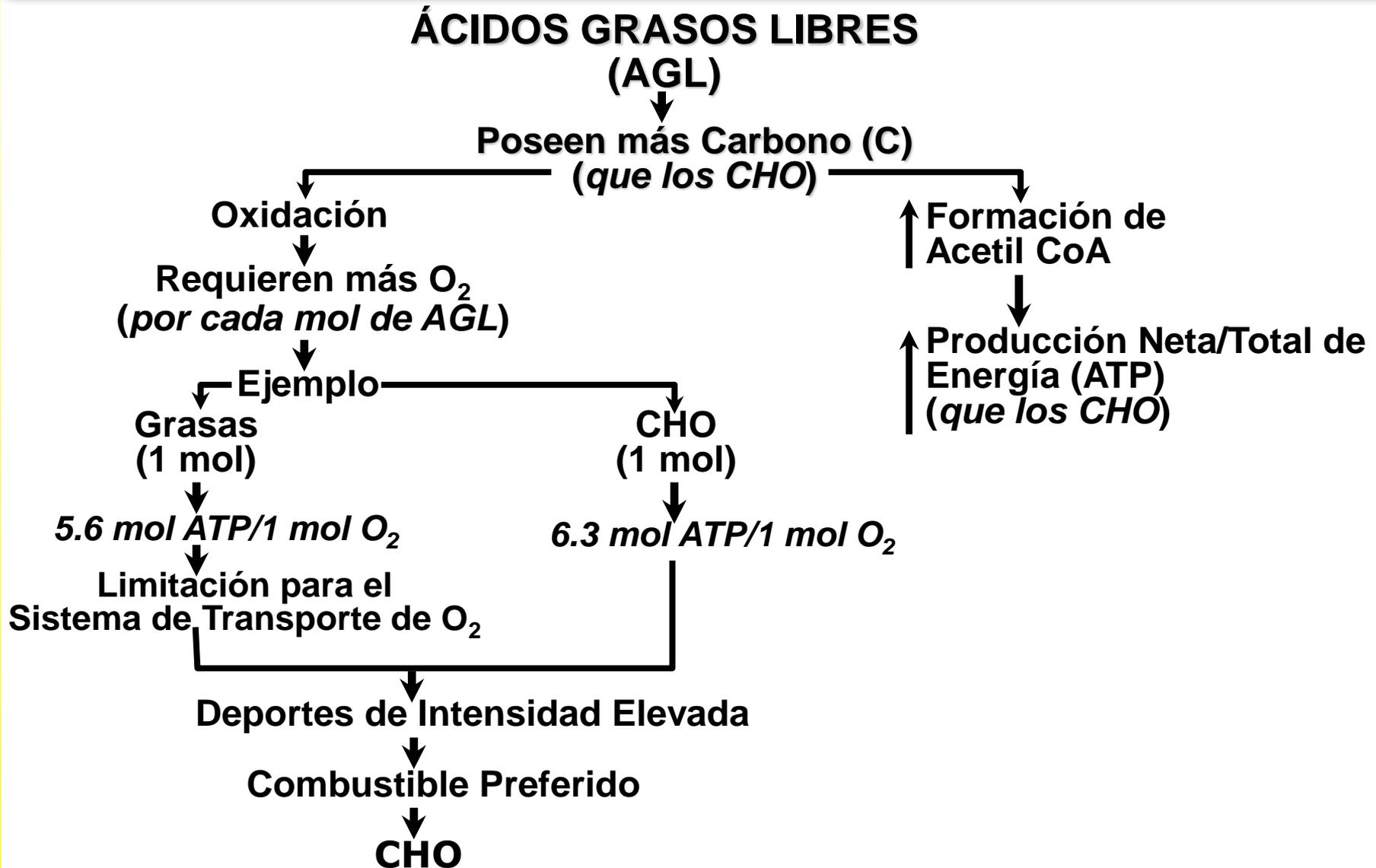
H₂O

CO₂

Oxidación de las Grasas



Oxidación de las Grasas



Oxidación de las Grasas

ÁCIDO PALMÍTICO



Ácido Graso Libre (AGL)



16 - Carbonos



Oxidación (1 mol)

(Ciclo de Krebs y Cadena de Transporte de Electrones)



**129 Moléculas de
ATP**

Producción de Energía Derivada de la Oxidación del Ácido Palmítico ($C_{16}H_{32}O_2$)

**Trifosfato de adenosina
producido de 1 molécula
de ácido palmítico**

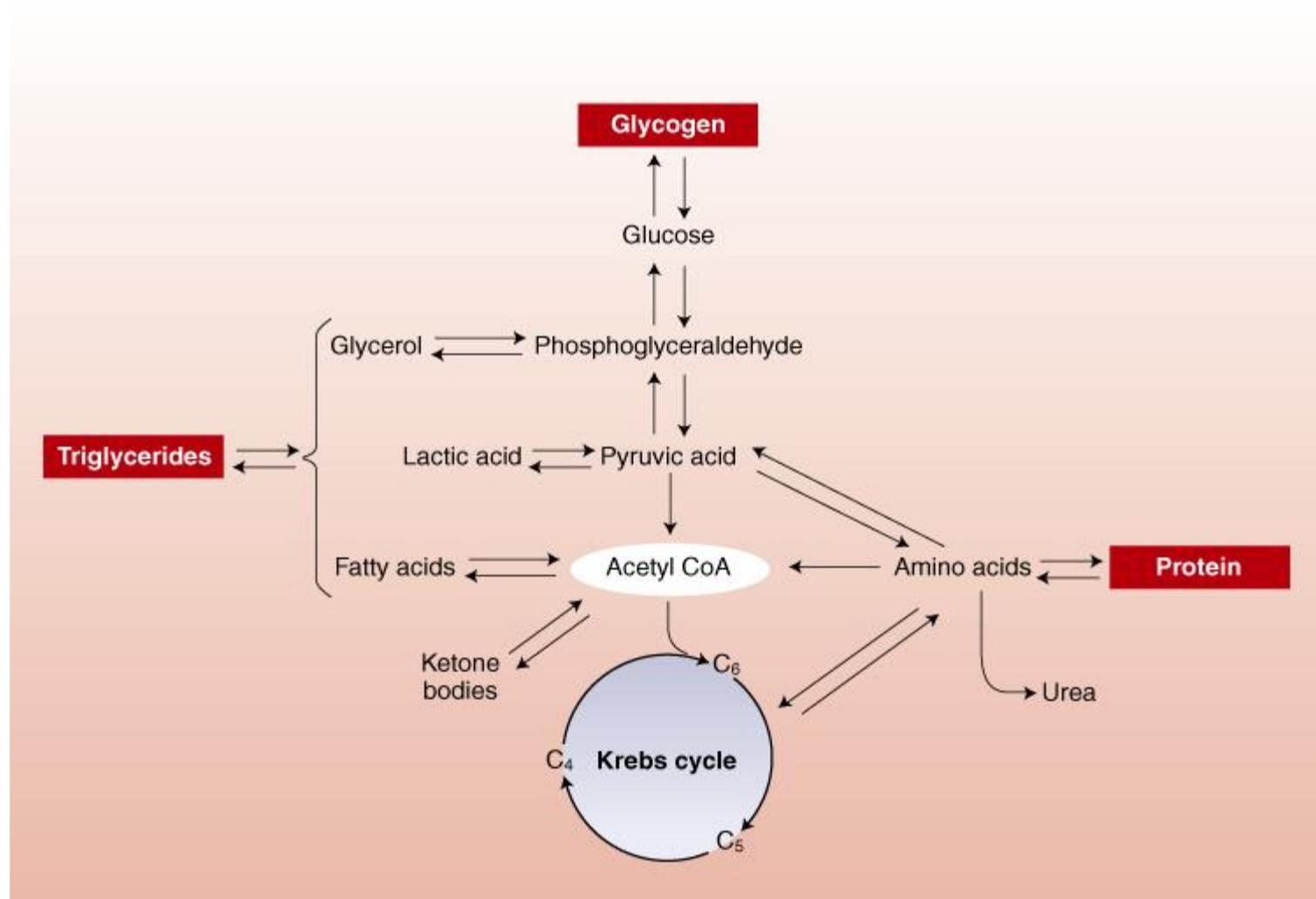
**Vía Fosforilación
Oxidativa**

Etapas del proceso	Directo	Vía Fosforilación Oxidativa
Activación ácidos grasos	0	-2
β -oxidación	0	35
Ciclo de Krebs	8	88
Subtotal	8	121
Total		129

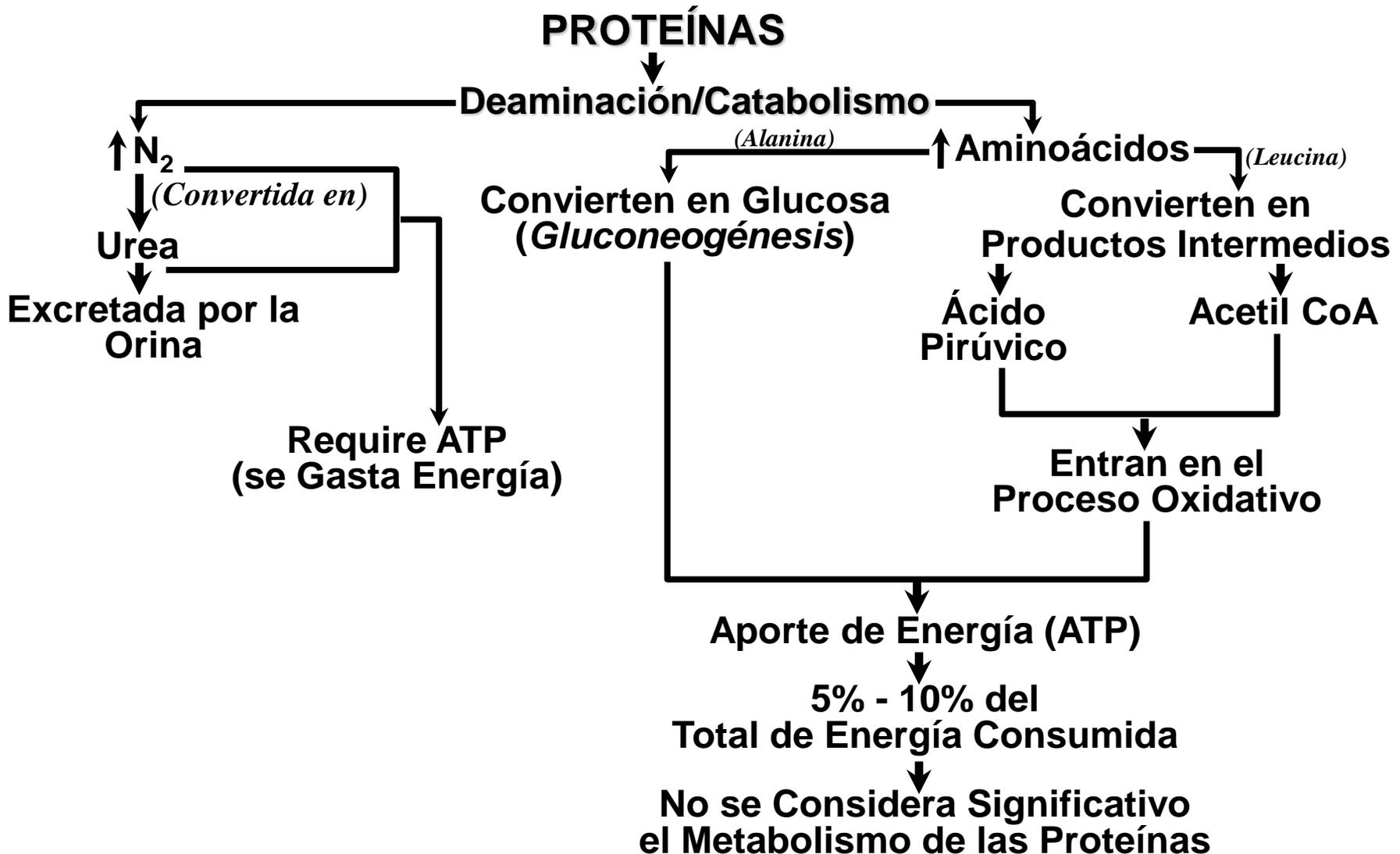
Oxidación de las Grasas

- ◆ Lipólisis—degradamiento de los triglicéridos en glicerol y ácidos grasos libres (AGL).
- ◆ Los AGL viajan a través de la sangre hacia las fibras musculares y se degradan para formar ácido acético mediante la acción de enzimas en las mitocondrias, donde eventualmente el ácido acético se convierte en acetil CoA.
- ◆ El acetil CoA entra en el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones.
- ◆ La oxidación de las grasas requiere más oxígeno para poder generar una mayor cantidad de energía, en comparación con la oxidación de los hidratos de carbono.

METABOLISMO DE LAS GRASAS



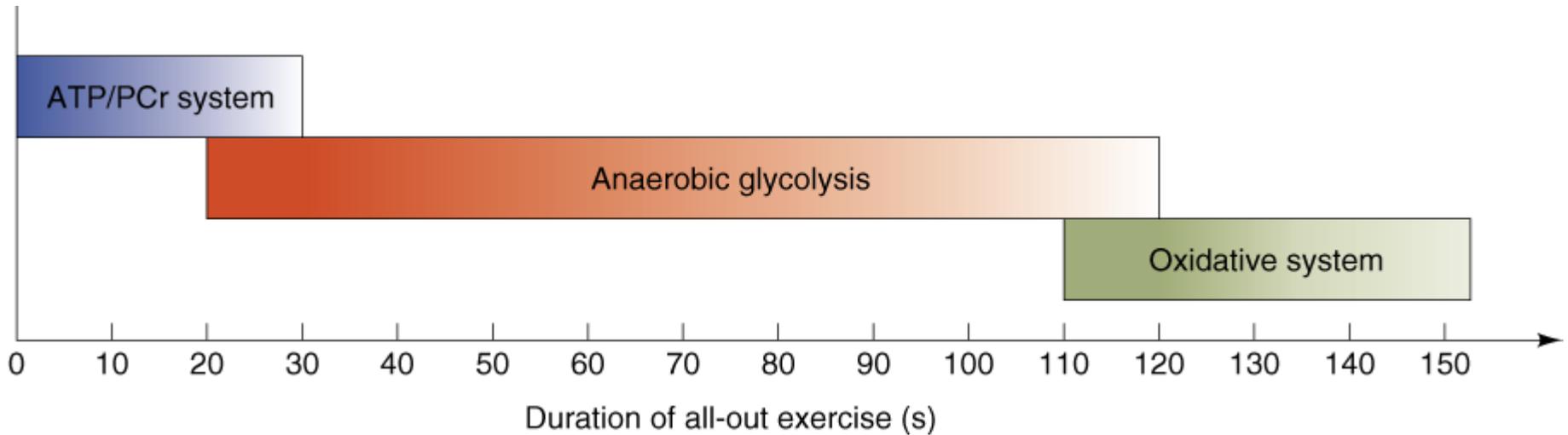
Metabolismo de las Proteínas



Metabolismo de las Proteínas

- ◆ El organismo humano utiliza muy poca proteína durante el reposo y el ejercicio (menos del 5% al 10%).
- ◆ Algunos aminoácidos que forman proteínas pueden ser convertidos en glucosa.
- ◆ El nitrógeno que contiene los aminoácidos (los cuales no pueden ser oxidados) dificulta la determinación de la energía producida por las proteínas.

INTERACCIÓN DE LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS ILUSTRANDO EL SISTEMA ENERGÉTICO PREDOMINANTE



Sistema Oxidativo: Capacidad Oxidativa

CAPACIDAD OXIDATIVA ($\dot{Q}O_2$) de un Músculo



**Capacidad de las Fibras Musculares para
Oxidar CHO y Grasas
durante Ejercicios Aeróbicos Prolongados**



(Representa la)

**Medida de la Capacidad Máxima Muscular
Para utilizar el O_2**

Sistema Oxidativo: Capacidad Oxidativa

**CAPACIDAD OXIDATIVA ($\dot{Q}O_2$)
de los Músculos**



Sistema Oxifativo: Capacidad Oxidativa

CAPACIDAD OXIDATIVA ($\dot{Q}O_2$) de los Músculos Esqueletales



Sistema Oxidativo: Capacidad Oxidativa

CAPACIDAD OXIDATIVA ($\dot{Q}O_2$) de un Músculo

**Indicadores de su
Potencial Oxidativo
(*Determinantes*)**

**Niveles de las
Enzimas Oxidativas
(Actividad Enzimática
de las Fibras Musculares)**

**Composición de los
Músculos Esqueletales
en cuanto a los
Tipos de Fibras**

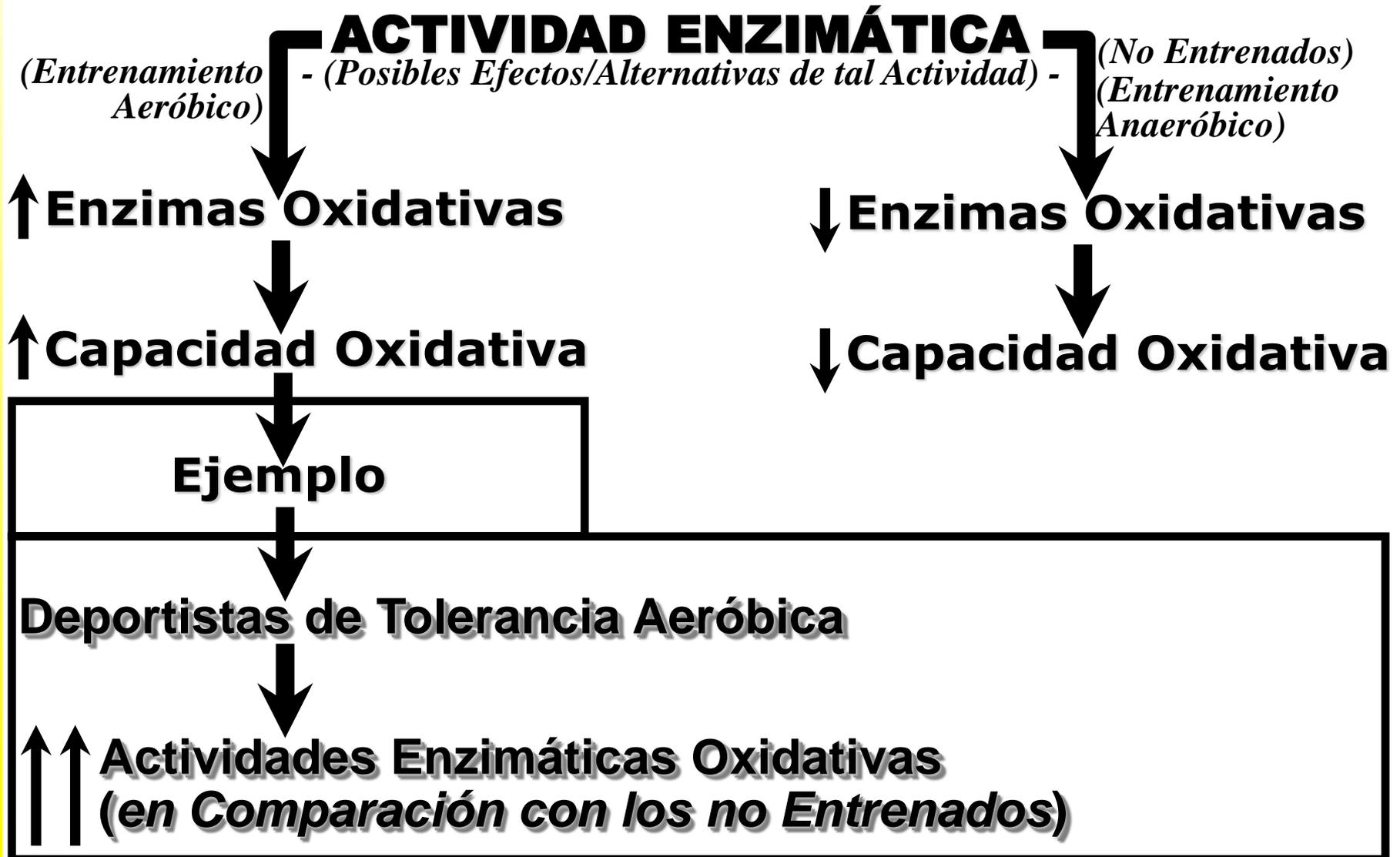
**Disponibilidad de O_2
(Sistema de Transporte de O_2)**

¿Qué Determina la Capacidad Oxidativa?

- ◆ La actividad enzimática dentro de los músculos
- ◆ La composición de los músculos esqueléticos en cuanto a los tipos de fibras y la cantidad de mitocondrias
- ◆ Entrenamiento de tolerancia aeróbica
- ◆ Disponibilidad y consumo de oxígeno en los pulmones



Sistema Oxidativo: Actividad Enzimática

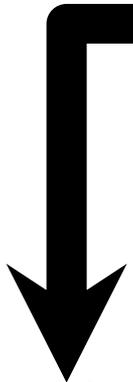


Capacidad Oxidativa: Actividad Enzimática

ACTIVIDAD ENZIMÁTICA



**Enzimas Medidas más Frecuentemente
(Mitocondriales del Ciclo de Krebs)**

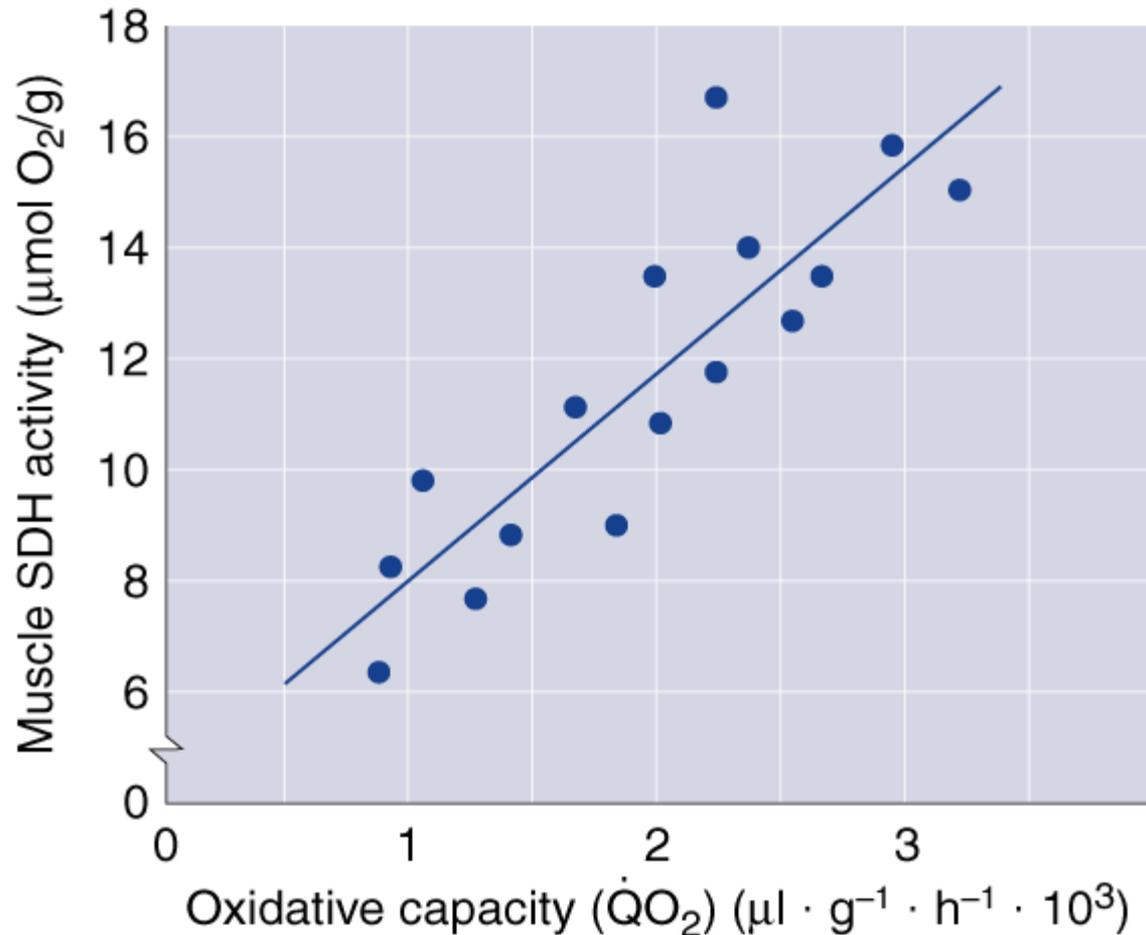


**Succinato Dehidrogenasa
(SDH)**



**Citrosintasa
(CS)**

ACTIVIDAD OXIDATIVA DE LAS ENZIMAS Y LA CAPACIDAD OXIDATIVA



Capacidad Oxidativa: Tipos de Fibras

Composición de los Músculos Esqueletales en Cuanto a los Tipos de Fibras

Deportistas de Tolerancia Aeróbica



CAPACIDAD OXIDATIVA
Fibras ST

Capacidad Oxidativa: Tipos de Fibras

Composición de Fibras Musculares



Ejemplo

Corredores Pedestres Elites de Larga Distancia

Poseen más Fibras ST

Más Mitocondrias

Mayor Capacidad Oxidativa

Capacidad Oxidativa: Tipos de Fibras

ENTRENAMIENTO FÍSICO

Ejercicio/Deportes que Requieren
Tolerancia Aeróbica

(Ej: Corredores Pedestres de Larga Distancia)

Impone Demandas sobre la
Fosforilación Oxidativa

Estimula Fibras Musculares

↑ # y Tamaño de Mitocondrias

↑ Enzimas de Fibras Musculares
Para Betaoxidación

↑ Dependencia de Músculos de las Grasas
y Productos de ATP

↑ **CAPACIDAD AERÓBICA DE LOS MÚSCULOS**

Capacidad Oxidativa: Tipos de Fibras

Entrenamiento de Tolerancia Aeróbica

Atletas con ↑% Fibras ST

Atletas con ↑% Fibras FT

↑ Capacidad Aeróbica De los Músculos

↓ Capacidad Aeróbica De los Músculos

No Desarrollan la misma Capacidad de Tolerancia Que las Fibras ST

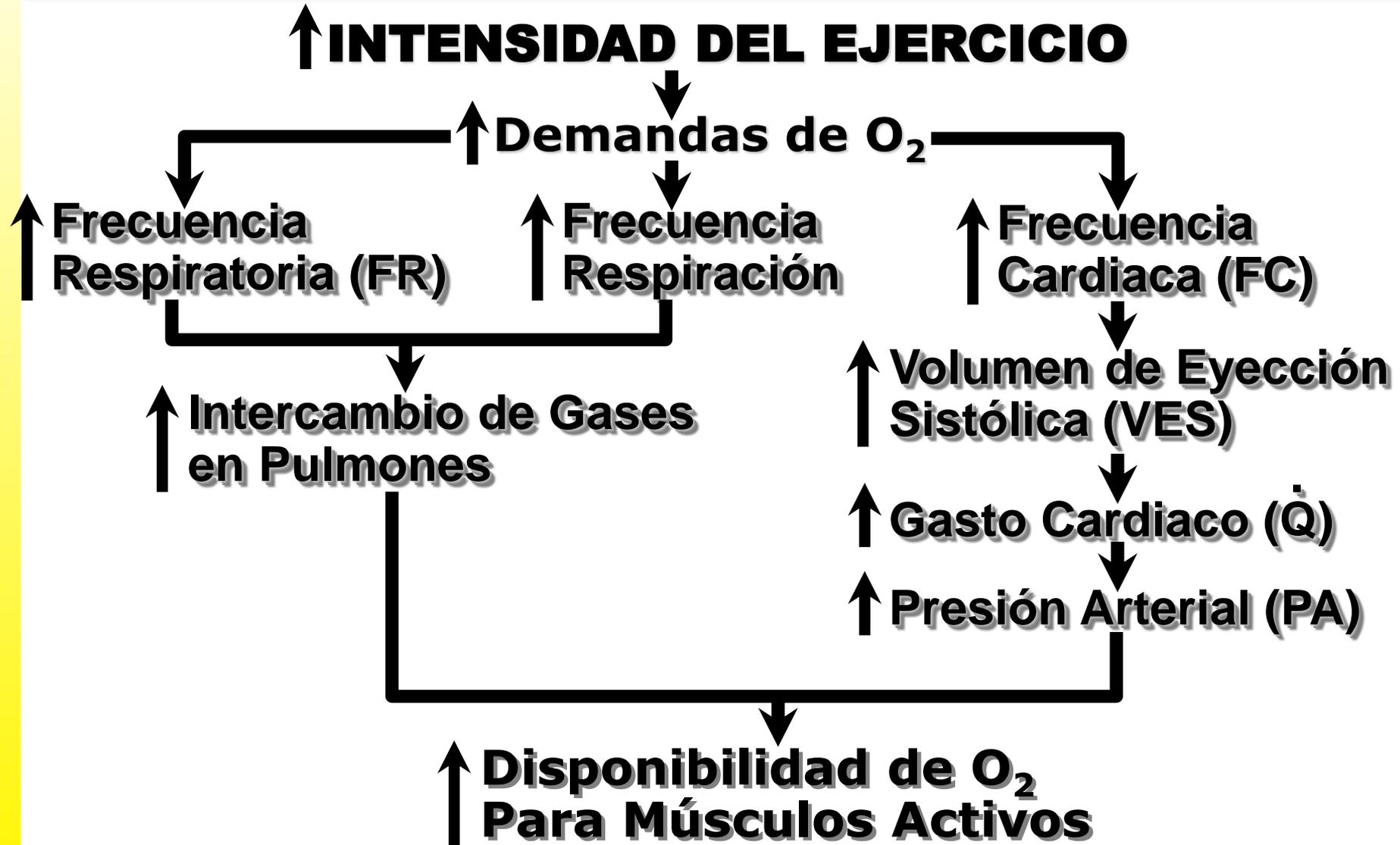
Capacidad Oxidativa: Necesidades de O₂

REPOSO

↓ **Necesidad de ATP**

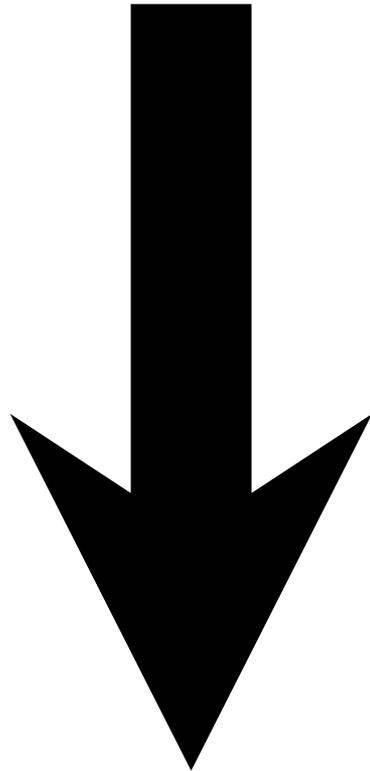
↓ **Requisitos del
Sistema de Transporte de O₂**

Capacidad Oxidativa: Necesidades de O₂



Capacidad Oxidativa: Necesidades de O₂

CUERPO HUMANO



Almacena poco O₂

Capacidad Oxidativa: Necesidades de O₂

O₂ QUE ENTRA EN LA SANGRE

Directamente Proporcional

O₂ Usado por los Tejidos
para el
Metabolismo Oxidativo

Ejemplo

↑ O₂ Sanguíneo

↓ O₂ Sanguíneo

↑ O₂ Utilizado para Oxidación
(↑ Capacidad Oxidativa)

↓ O₂ Utilizado para Oxidación
(↓ Capacidad Oxidativa)

Por lo tanto

Medición del O₂ Consumido

**ESTIMACIÓN DE LA
ENERGÍA/CAPACIDAD AERÓBICA**

Bioenergética: Producción de ATP

- ♦ Los sistemas ATP-PCr y glucolíticos producen pequeñas cantidades de ATP anaeróbicamente y representan los principales proveedores de energía durante los minutos iniciales de ejercicios de alta intensidad.
- ♦ El sistema oxidativo utiliza oxígeno y produce más energía que los sistemas anaeróbicos.

(continúa)

Bioenergética: Producción de ATP

- ♦ La oxidación de los hidratos de carbono involucra la glucólisis, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones, desde los cuales se produce hasta un total de 39 moléculas de ATP por cada molécula de glucógeno metabolizado aeróbicamente.
- ♦ La oxidación de las grasas involucra la β oxidación de los ácidos grasos libres, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones, mediante los cuales se produce una mayor cantidad de ATP en comparación con los hidratos de carbono, pero está limitado a la disponibilidad de O_2 .

(continúa)

Bioenergética: Producción de ATP

- ♦ Generalmente, las proteínas contribuyen muy poco a la producción de energía (menos del 5%), y su oxidación es compleja porque los aminoácidos contienen nitrógeno, el cual no puede ser oxidado.
- ♦ La capacidad oxidativa de las fibras musculares dependen de sus niveles enzimáticos, la composición de los músculos esqueléticos en cuanto a sus tipos de fibras, cómo éstas han sido entrenadas y la disponibilidad de oxígeno.

Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA

(Medición de la Energía Metabólica Utilizada)

- (Mide la Tasa Metabólica/Gasto Energético, en kcal, Julios) -

DIRECTA

(Medición de la Producción de Calor)
(Medición Directa del Calor Liberado por el Metabolismo)

(Ejemplo)

Cámara Calorimétrica

INDIRECTA

Espirometría en Circuito Abierto)

(Medición del Intercambio Respiratorio de CO₂ y O₂)

Relación del Intercambio Respiratorio (R)

$$(R = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2)$$

(También se conoce como)

**PROPORCIÓN DEL INTERCAMBIO RESPIRATORIO
O
COCIENTE RESPIRATORIO (CR)**

Isótopos Marcadores

Rastrear

Ritmo de Eliminación
(Orina, Saliva, Sangre)

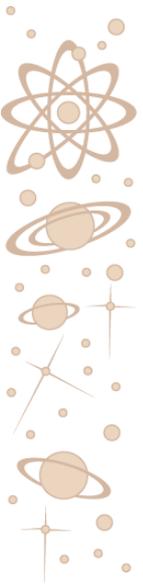
Medición de CO₂ Producido

Convertido en Consumo Energético

Medición del Costo Energético del Ejercicio

Calorimetría directa—mide la producción de calor del cuerpo para poder, entonces, calcular el gasto energético.

Calorimetría indirecta—calcula el gasto energético que se obtiene de la proporción o relación del intercambio respiratorio (RER) del VCO_2 y VO_2 .



Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA DIRECTA



Metabolismo



Energía Liberada



60% Convertido en Calor



Medición



**SE ESTIMA EL
RITMO E INTENSIDAD
DE LA ENERGÍA**

Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA DIRECTA

VENTAJAS

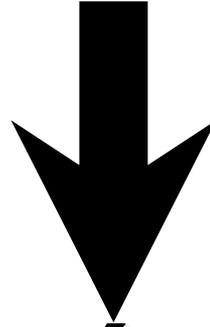
- **Medición Directa/Precisa del Calor Metabólico**

DESVENTAJAS

- **No Puede Seguir Cambios Rápidos en la Liberación de Energía, es decir, Toma mucho Tiempo el Cálculo de la Producción de Calor (Ej: Ejercicios de Alta Intensidad)**
- **No es portable/práctico**
- **Es muy Costoso**
- **No Aplica para Actividades Recreativas Comunes**

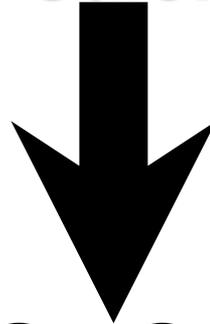
Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA DIRECTA



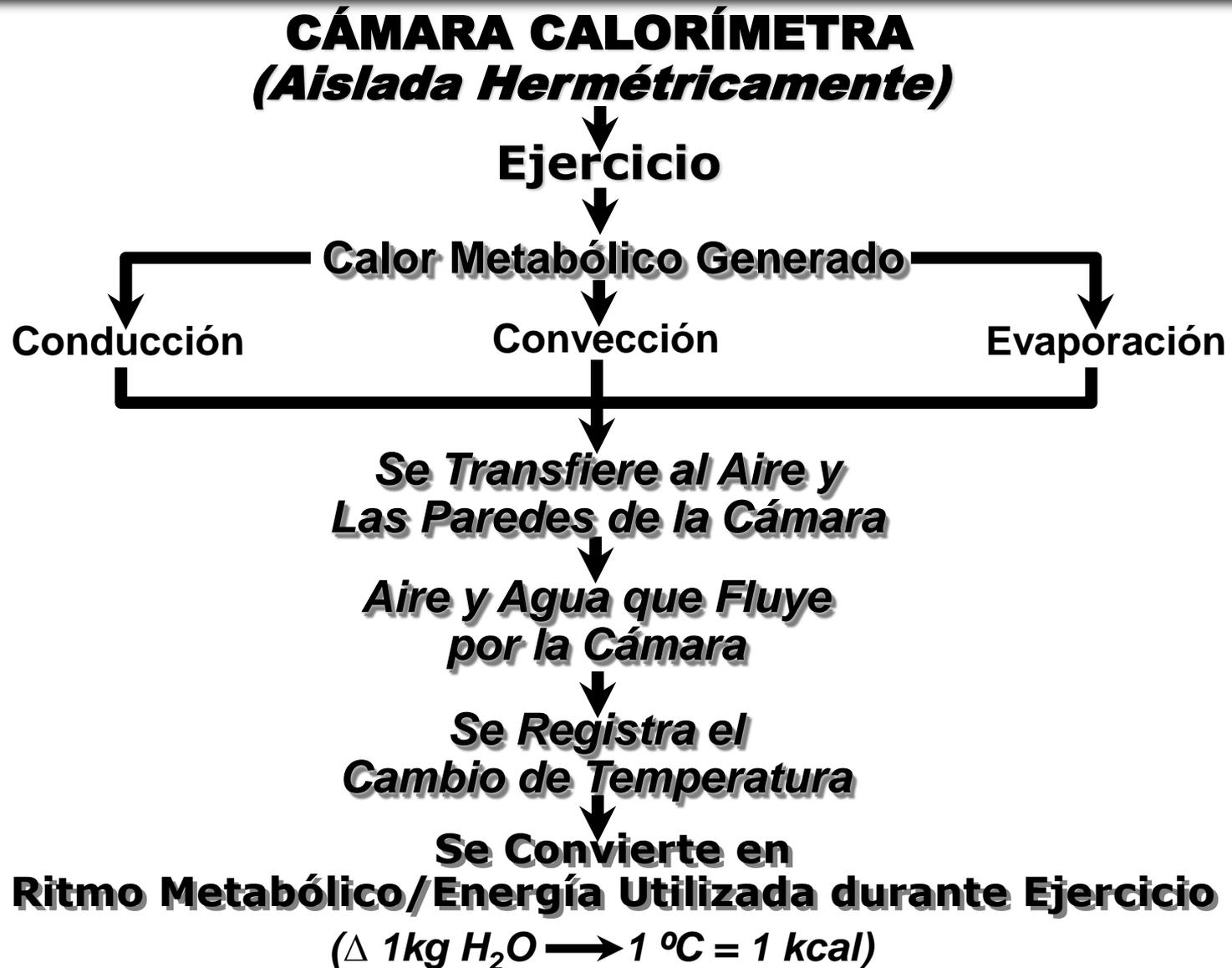
Calorímetro

(Aparato para Medir Calor/Energía Metabólica)

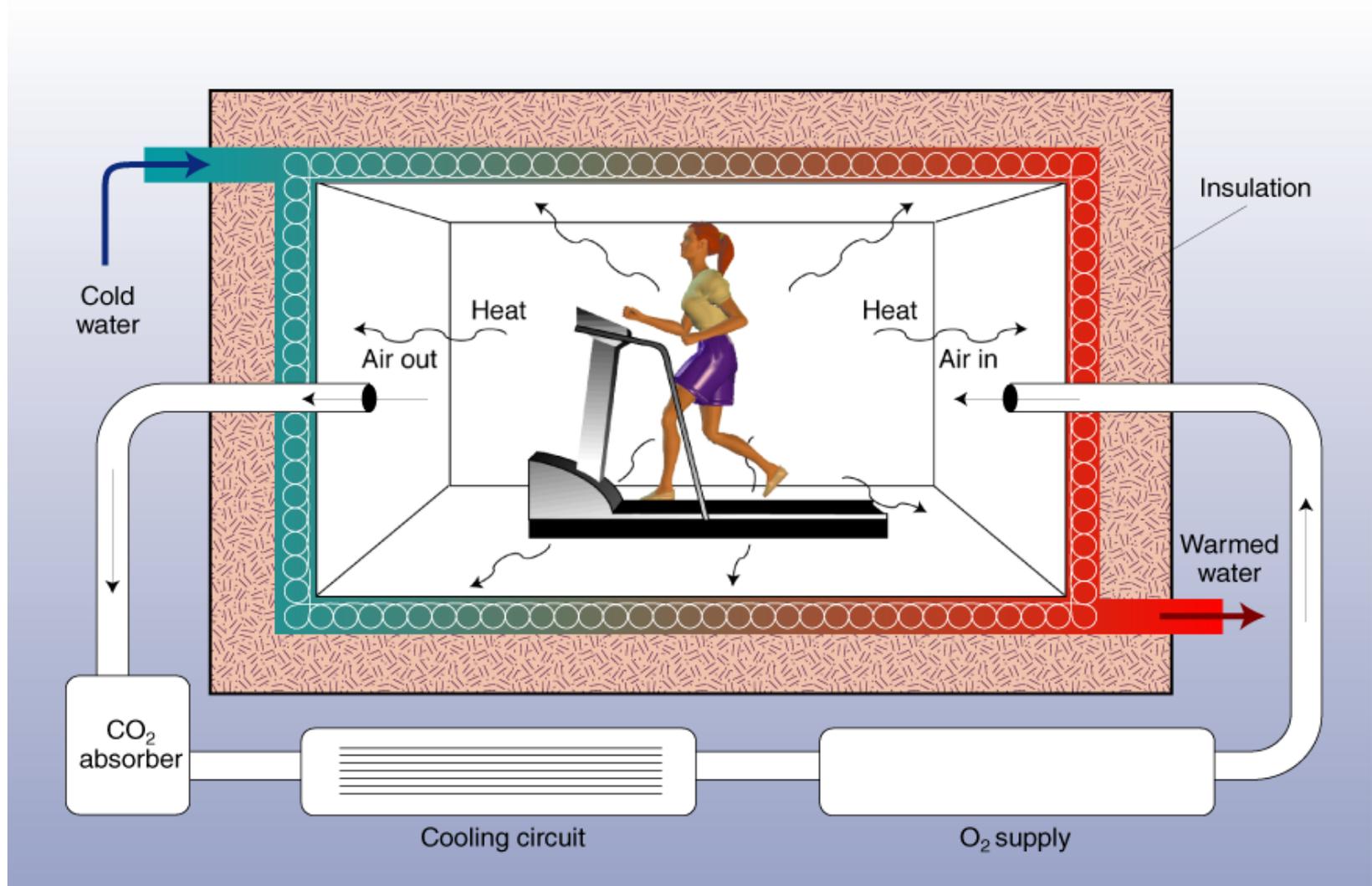


CÁMARA COLORIMÉTRICA (BOMBA CALORÍMETRA)

Medición del Costo Energético del Ejercicio



CÁMARA CALORIMÉTRICA



Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA INDIRECTA

↓ *(Basado en)*

Equivalencia Energética/Calórica del

$\dot{V}O_2$

↓

**Utilizado para la Oxidación de los
Sustratos (CHO y GRASAS)**

↓ *(Se estima que)*

**1 Litro de O_2 Consumido por Minuto
($\dot{V}O_2$, L/min = 1.0)**

Equivale Aproximadamente a:

↓ *(Equivalencia Energética/Calórica)*

5 kcal/min

Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Calorímetro

**Sistema de
Espirometría en Circuito Abierto**

Medición del Volumen de

CO₂ (Producido) **O₂ (Utilizado)**

**Intercambio Respiratorio
de
Gases**

RELACIÓN (R) O PROPORCIÓN
(R = VCO₂ liberado/VO₂ Consumido)

Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Sistema de: *Calorímetro*

Espirometría en Circuito Abierto



Para Determinar el $\dot{V}\text{CO}_2$ y el $\dot{V}\text{O}_2$

↓ (Se Calcula)

PROPORCIÓN DEL
INTERCAMBIO RESPIRATORIO (R)

○
COCIENTE RESPIRATORIO (CR)

MEDICIÓN DEL INTERCAMBIO RESPIRATORIO DE GASES



Medición del Costo Energético del Ejercicio

$\dot{V}O_2$ —volumen de O_2 consumido por minuto (L/min).

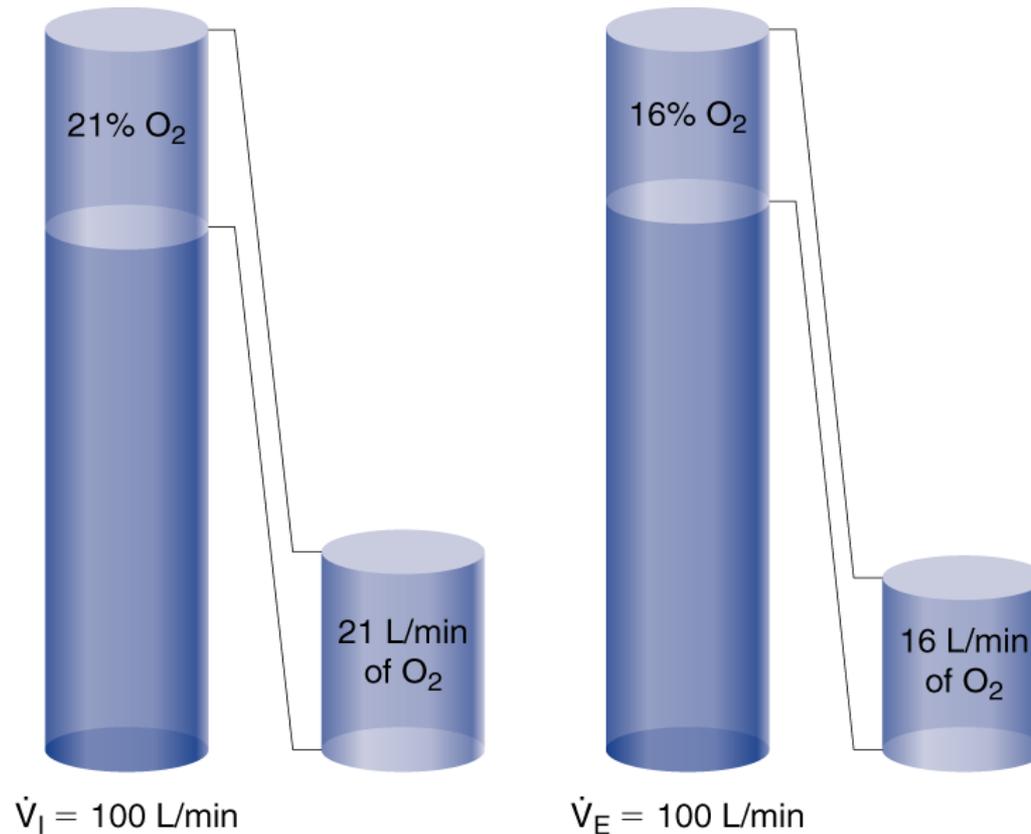
$\dot{V}CO_2$ —volumen de CO_2 producido por minuto (L/min).

$$\dot{V}O_2 = (\dot{V}_I \times F_I O_2) - (\dot{V}_E \times F_E O_2)$$

$$\dot{V}CO_2 = (\dot{V}_E \times F_E CO_2) - (\dot{V}_I \times F_I CO_2)$$

Donde \dot{V}_E = ventilation expirada; \dot{V}_I = ventilation inspirada; $F_I O_2$ = fracción del oxígeno inspirado; $F_I CO_2$ = fracción del bióxido de carbon inspirado; $F_E O_2$ = fracción del oxígeno expirado; y $F_E CO_2$ = fracción del bióxido de carbono expirado.

CALCULANDO EL CONSUMO DE OXÍGENO



$$\begin{aligned}\dot{V}_{O_2} &= \dot{V}_I \times F_{I}O_2 - \dot{V}_E \times F_{E}O_2 \\ \dot{V}_{O_2} &= 100 \text{ L/min} \times 0.21 - 100 \text{ L/min} \times 0.16 \\ \dot{V}_{O_2} &= 21 \text{ L/min} - 16 \text{ L/min} = 5 \text{ L/min}\end{aligned}$$

Transformación de Haldane

Tú puedes usar el \dot{V}_E para calcular \dot{V}_I dado que el volumen del nitrógeno expirado es constante:

$$\dot{V}_I = (\dot{V}_E \times F_{E N_2}) / F_{I N_2} \text{ y } F_{E N_2} = 1 - (F_{E O_2} + F_{E CO_2})$$

$$\dot{V}O_2 = (\dot{V}_I \times F_{I O_2}) - (\dot{V}_E \times F_{E O_2})$$

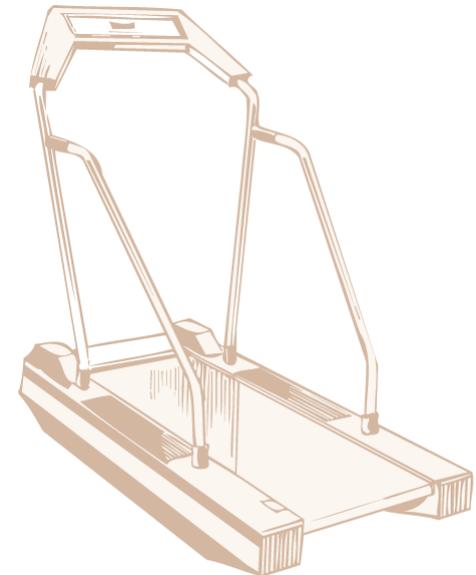
$$\dot{V}O_2 = [(\dot{V}_E \times F_{E N_2}) / (F_{I N_2} \times F_{I O_2})] - (\dot{V}_E \times F_{E O_2})$$

Luego substituye los valores conocidos por el $F_{I O_2}$ de 0.2093 y el $F_{I N_2}$ de 0.7903:

$$\dot{V}O_2 = (\dot{V}_E \times \{[(1 - (F_{E O_2} + F_{E CO_2})) \times 0.265] - F_{E O_2}\})$$

Proporción del Intercambio Respiratorio

- ♦ La proporción entre el CO_2 liberado ($\dot{V}\text{CO}_2$) y el oxígeno consumido ($\dot{V}\text{O}_2$)
- ♦ $\text{RER} = \dot{V}\text{CO}_2 / \dot{V}\text{O}_2$
- ♦ El valor de la RER en reposo es usualmente de 0.78 a 0.80
- ♦ El valor de la RER puede ser utilizada para determinar el sustrato metabólico usado en reposo y durante el ejercicio, donde un valor de 1.00 indica la oxidación de CHO y 0.70 indica que se oxidan las grasas.



Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Relación de Intercambio Respiratorio (R)
*(Proporción del Intercambio Respiratorio o
Cociente Respiratorio [CR])*

$\dot{V}CO_2$ Producido / $\dot{V}O_2$ Consumido

Determina

Tipo de Nutriente/Sustrato Metabolizado

ESPECÍFICO
CHO Grasas Proteínas
(Insignificante)

Alcohol

AYUNO/INANICIÓN
(Ningún Nutriente)

MEZCLA
(Dieta Mixta)
(CHO, Grasas, PRO)

En las Células/Fibras Musculares

Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Relación de Intercambio Respiratorio (R)

$\dot{V}CO_2$ Producido / $\dot{V}O_2$ Consumido

Determina

Tipo de Sustrato Oxidado

(En Fibras Musculares)

**NUTRIENTES
ESPECÍFICOS**

CHO

Grasas

Proteínas

ALCOHOL

AYUNO/INANICIÓN

MEZCLA/DIETA MIXTA

Combinación de

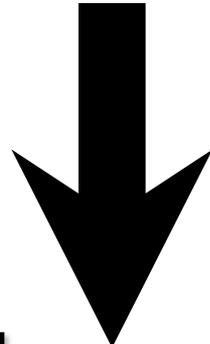
CHO

Grasas

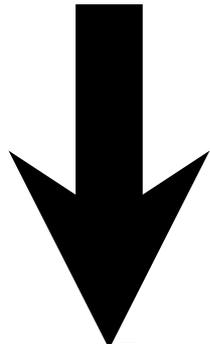
Proteínas

Medición del Costo Energético del Ejercicio

**Cantidad de O₂ Usado
Durante el Metabolismo (R)**



Determina



Tipo de Nutriente Oxidado

Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Espirometría en Circuito Abierto

Intercambio Respiratorio (R)
entre CO_2 y O_2

Equivalencia Metabólica/Energética

1 L O_2 Consumido/Min
(VO_2 , L/min = 1.0)

Sustrato Oxidado (%)

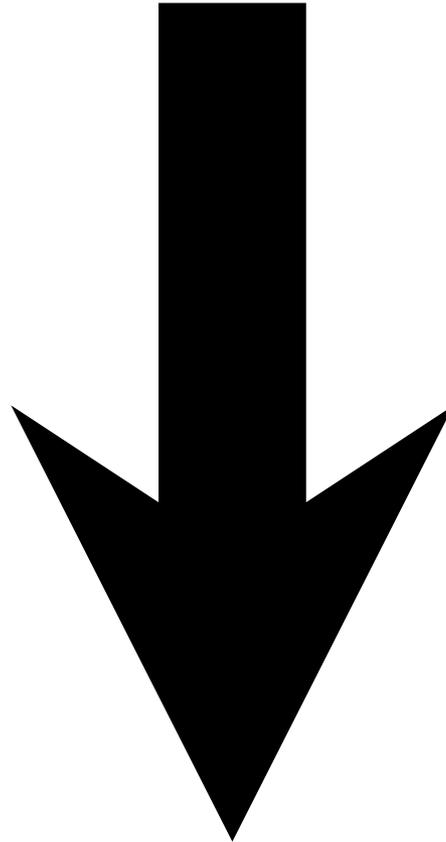
R (VCO_2/VO_2)	Energía (kcal/L O_2)	CHO	Grasas
0.71	4.69	0.0	100.0 (Grasas)
0.85	4.86	50.7	49.3 (Dieta Mixta)
1.00	5.05	100.0	0.0 (CHO)
	4.485		Proteínas
	4.86		Alcohol
	4.70		Inanición (Ayuno)

Equivalencia Calórica de la Proporción del Intercambio Respiratorio (RER) y el % de kcal derivado de los Hidratos de Carbono y Grasas

RER	Energía		% kcal	
	kcal/L O ₂	Hidratos de Carbono	Grasas	
0.71	4.69	0.0	100.0	
0.75	4.74	15.6	84.4	
0.80	4.80	33.4	66.6	
0.85	4.86	50.7	49.3	
0.90	4.92	67.5	32.5	
0.95	4.99	84.0	16.0	
1.00	5.05	100.0	0.0	

Medición del Costo Energético del Ejercicio

ESTIMACIÓN



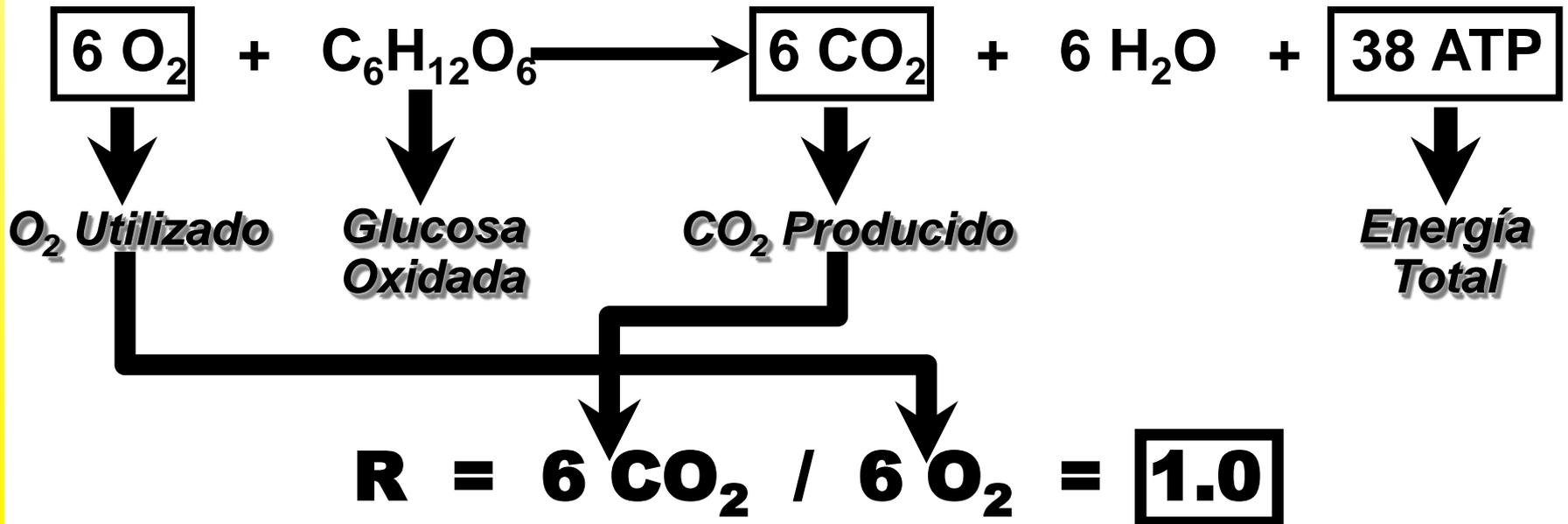
1 L O₂ consumido/min \approx 5 kcal/L

Medición del Costo Energético del Ejercicio

La Cantidad de O₂ Necesario para Oxidar Completamente una Molecula de CHO o Grasas

Propocional a

La Cantidad de Carbono (C) Existente en Tales Sustratos



Medición del Costo Energético del Ejercicio

GRASAS



**Proporciona
más Energía**



**Necesita más O₂
para ser
Oxidado**



↓ Valor de R

CHO



**Proporciona
menos Energía**



**Necesita menos O₂
para ser
Oxidado**



↑ Valor de R

Medición del Costo Energético del Ejercicio

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Proporción del Intercambio Respiratorio (R)

Limitaciones

Solo es Válido en:

Reposo

Durante un Ejercicio en Estado Estable (Intensidad Constante)

Genera Valores Inexactos

Valores $R = 1.0$

Puede No Estimar

El Tipo de Sustrato Usado por Músculos

Puede Indicar

$\uparrow \text{CO}_2$

$R = \downarrow 0.7$

Indica:

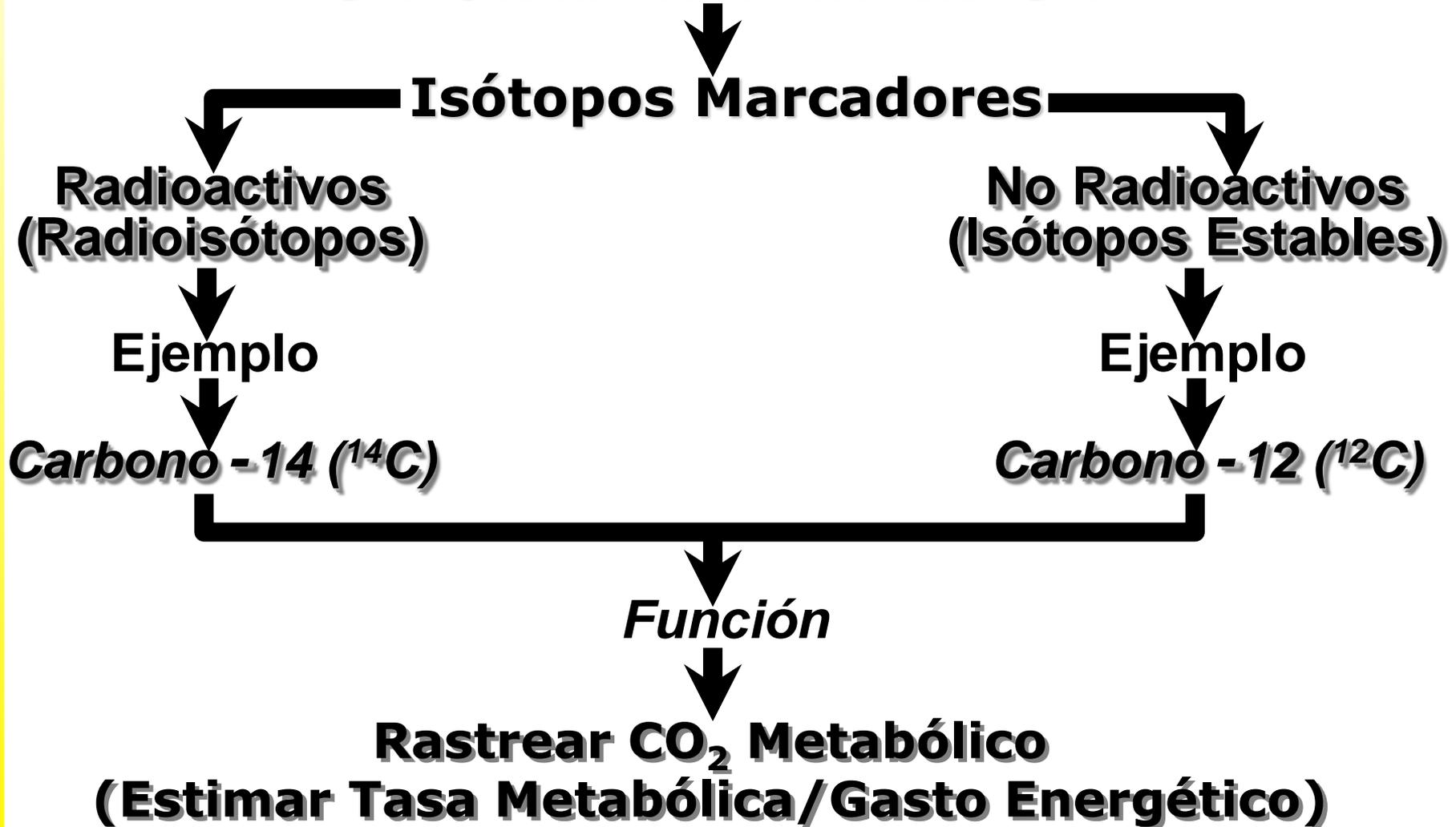
**Síntesis Glucosa
Vía Gluconeogénesis**

Se Ignora la Oxidación de las Proteínas

Contribución de las Proteínas es 10% del Total de Energía Producido En un Ejercicio Prolongado

Mediciones del Gasto Energético

CALORIMETRÍA INDIRECTA



Mediciones del Gasto Energético

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Trazadores/Rastreadores

Introducir Isótopos en el Cuerpo

Inyectado

Oral

Ejemplos

Carbono -13 (^{13}C)

Hidrógeno -2 (Deuterio ó ^2H)

Oxígeno -18 (^{18}O)

Se Sigue su

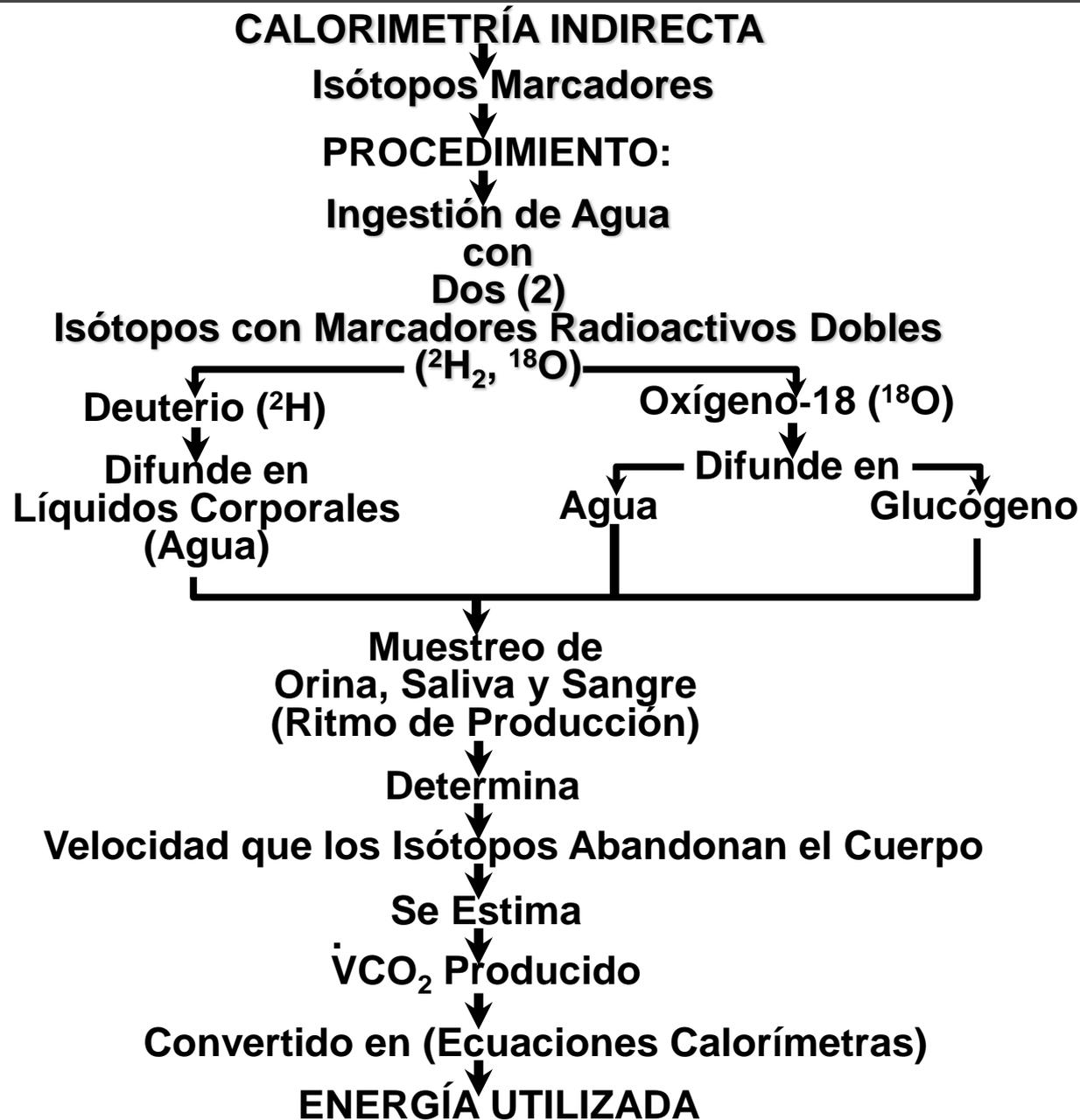
Distribución

Movimiento

Tasa de Producción de los Isótopos Rastreados
(*Vía Orina, Saliva y Sangre*)

Producción de CO_2

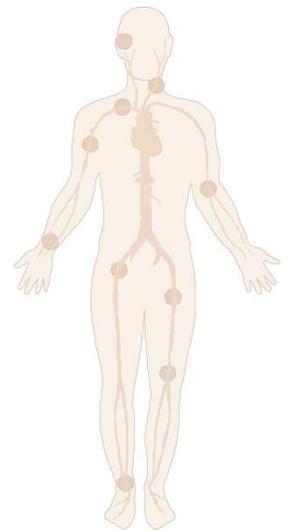
CONSUMO CALÓRICO



Mediciones del Gasto Energético

Carbón-13—Infundido y rastreado de manera selectiva para determinar su movimiento y distribución

Agua de doble marcador radioactivo— $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ es ingerida y se monitorea la tasa en la cual ^2H y ^{18}O se difunde a través de los líquidos corporales (agua) y en las reservas de bicarbonato para eventualmente abandonar el cuerpo, de manera que se pueda calcular la cantidad de energía gastada



Mediciones del Gasto Energético

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Isótopos Marcados

VENTAJAS

- ▶ Altamente Preciso
- ▶ Escaso Riesgo

DESVENTAJAS

- ▶ No es adecuado para medir el metabolismo durante el ejercicio agudo (es lento, tarda varias semanas)
- ▶ Si se usan isótopos radioactivos, existe peligro para los tejidos corporales

Medición de la Energía Utilizada Durante el Ejercicio

- ♦ La calorimetría directa mide el calor producido por el cuerpo, mientras que la calorimetría indirecta estima el gasto calórico al medir el consumo de O_2 .
- ♦ El valor del RER puede ser utilizado para determinar los tipos de combustibles oxidados y se emplea para el cálculo del gasto energético por cada litro de O_2 consumido.
- ♦ Rastreando isótopos ingeridos o inyectados en el cuerpo también puede utilizarse para calcular el gasto calórico.

Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico

Aún no existe un método que definitivamente mida la capacidad anaeróbica, sin embargo, existen maneras para estimarla:

- ◆ Examinar el consumo de oxígeno en exceso posterior al ejercicio (COEP, EPOC)—La desigualdad o diferencia entre el consumo de O_2 y los requisitos energéticos durante la recuperación del ejercicio
- ◆ Estimar la acumulación de lactato en los músculos mediante el análisis sanguíneo; estimar el nivel del umbral de lactato (UL)
- ◆ Utilizar la prueba del déficit de oxígeno acumulado máximo, la prueba de potencia crítica o la prueba anaeróbica de Wingate, la cual también representa también una efectiva medida para estimar el potencial metabólico de la capacidad anaeróbica

Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico

CAPACIDAD ANAERÓBICA

Medición

Pruebas/Métodos

Solo Ofrecen
Estimacion Aproximado

CONSUMO DE OXÍGENO EN EXCESO
POSTEJERCICIO (COEP),
VO₂ de Recuperación o
Deuda de O₂

VO₂ DE EJERCICIO/RECUPERACIÓN
VO₂ Durante y Después
de un
Ejercicio Submáximo y Máximo

UMBRAL DE LACTATO (UL),
Nivel del
Lactato Sanguíneo
Después de un
Ejercicio Agotador

Indicación de
Glucólisis Anaeróbica

Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico

CALORIMETRÍA



Ejercicios Anaeróbicos



Estimación del Metabolismo Anaeróbico
(Interacción de los Procesos Oxidativos y No-Oxidativos)



MÉTODOS

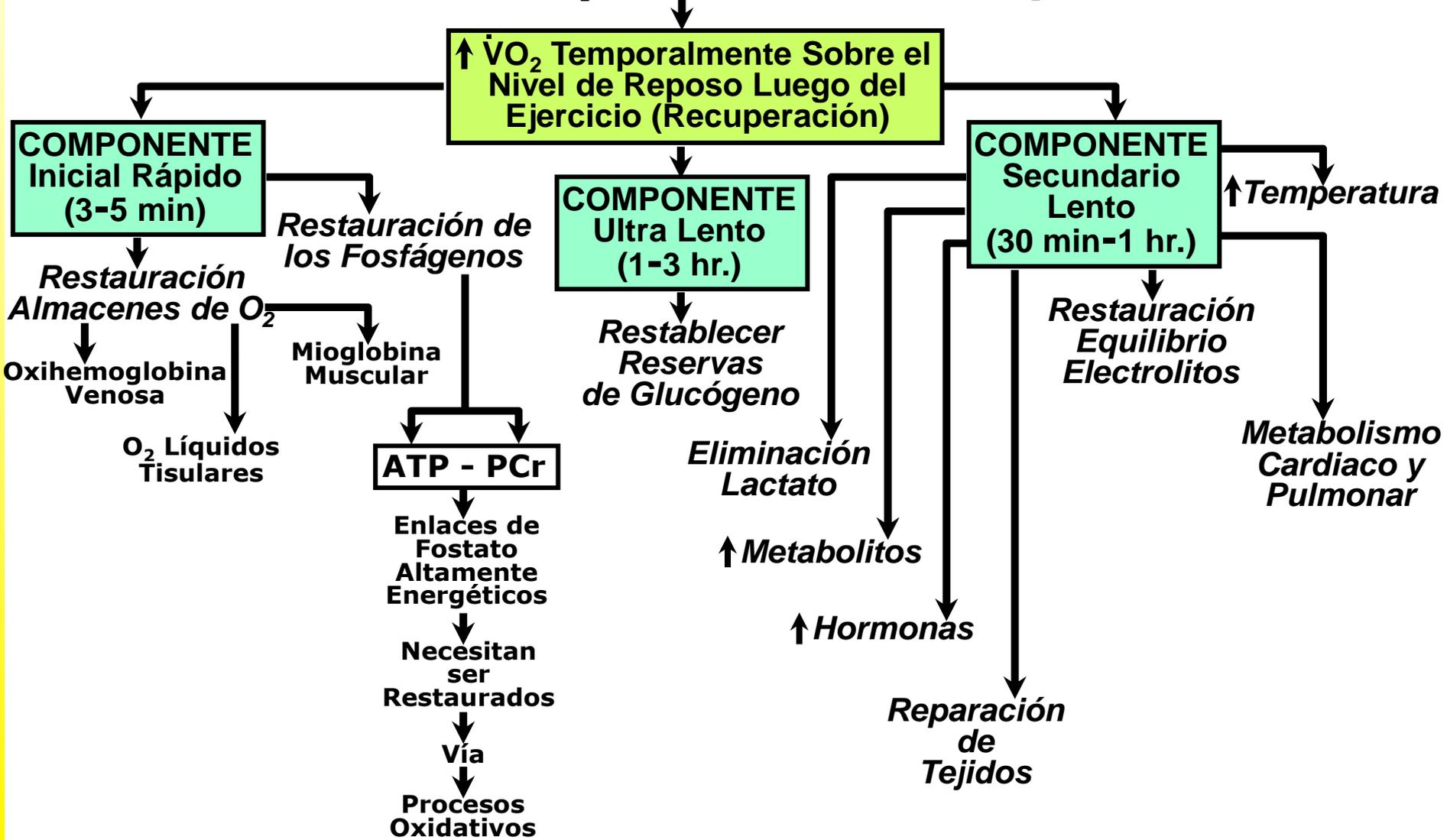


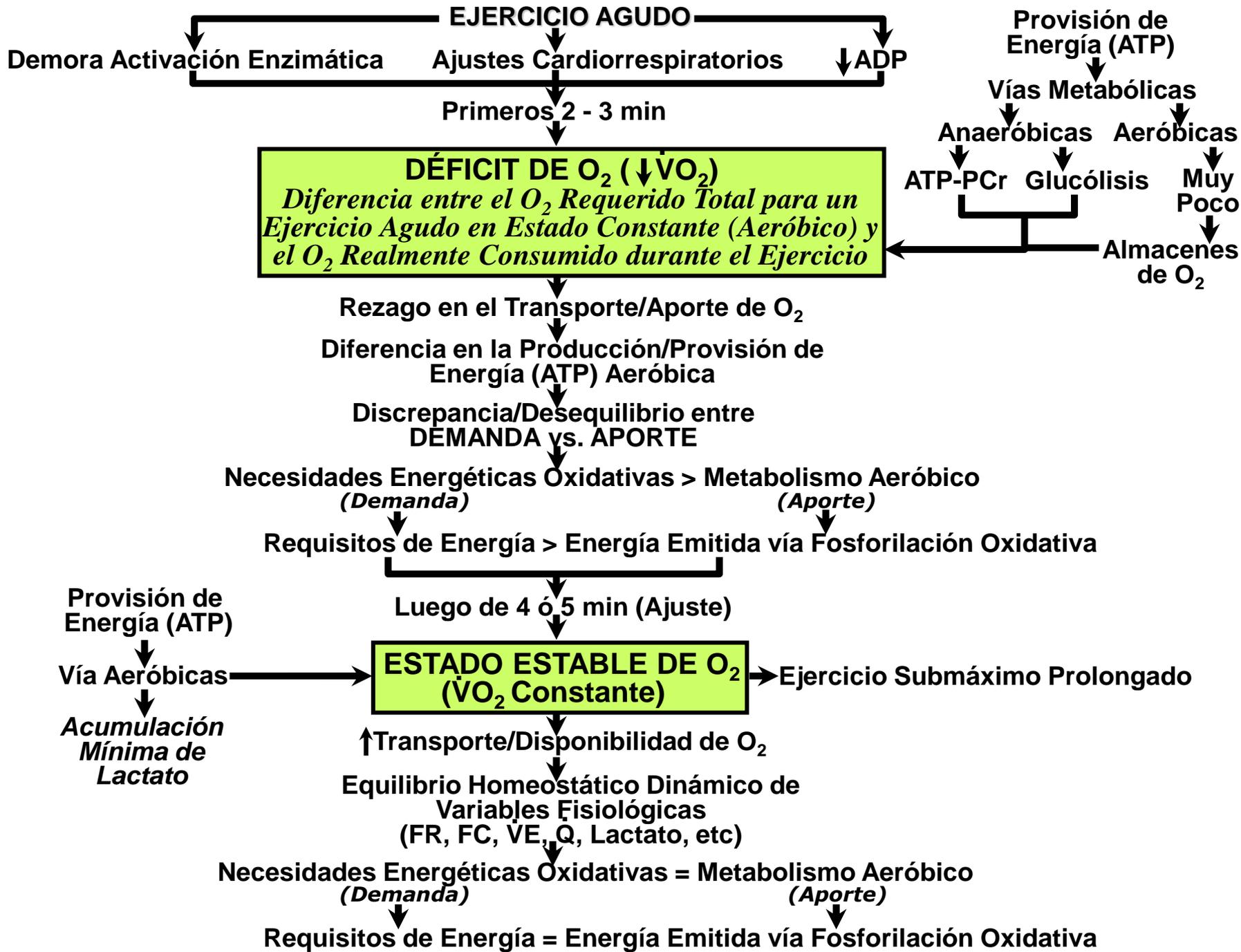
**CONSUMO DE OXÍGENO EN EXCESO
POSTERIOR AL EJERCICIO (COEP),
Oxígeno de Recuperación o
Deuda de Oxígeno**

**UMBRAL DE LACTATO (UL),
Nivel del
Umbral Anaeróbico (UAn)**

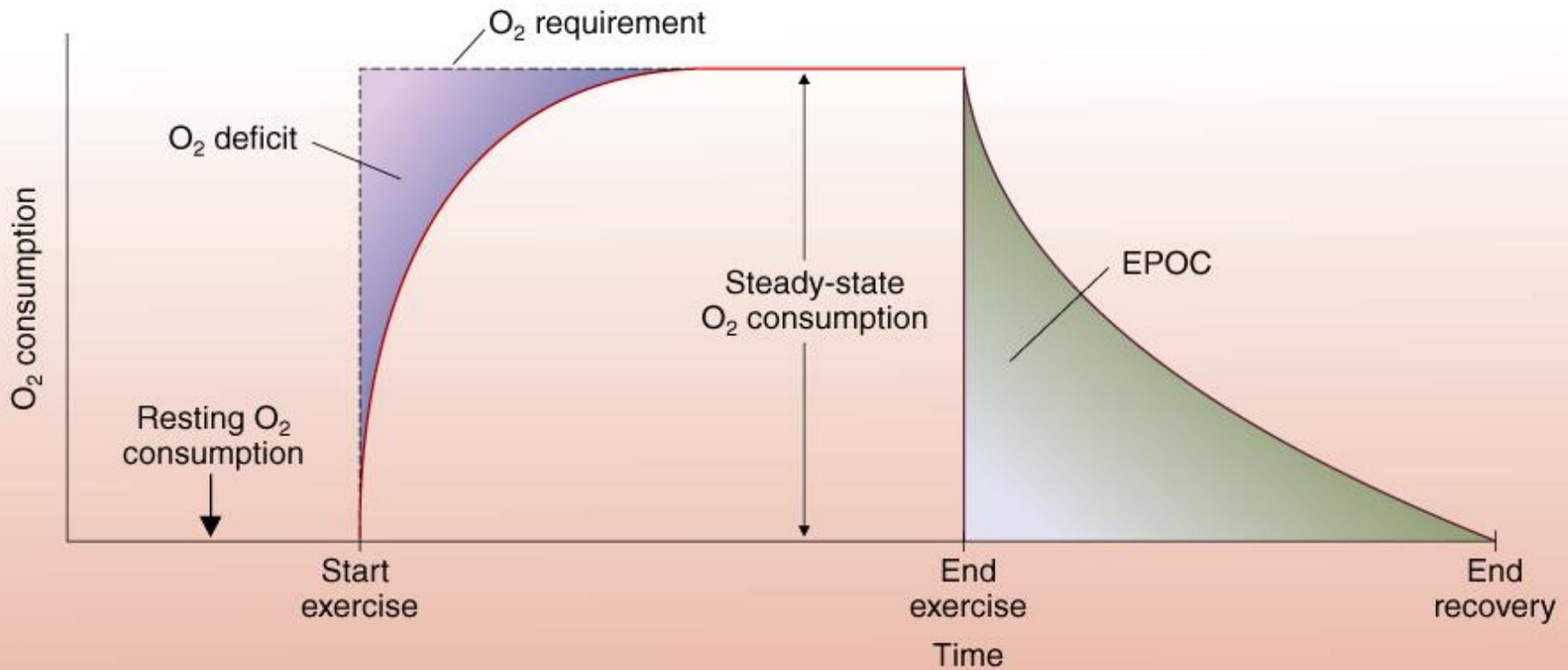
CONSUMO DE OXÍGENO EN EXCESO POSTERIOR AL EJERCICIO (COEP)

(Oxígeno de Recuperación, Deuda de Oxígeno)
(Exceso/Añadidura al O_2 Normalmente Consumido en Reposo)



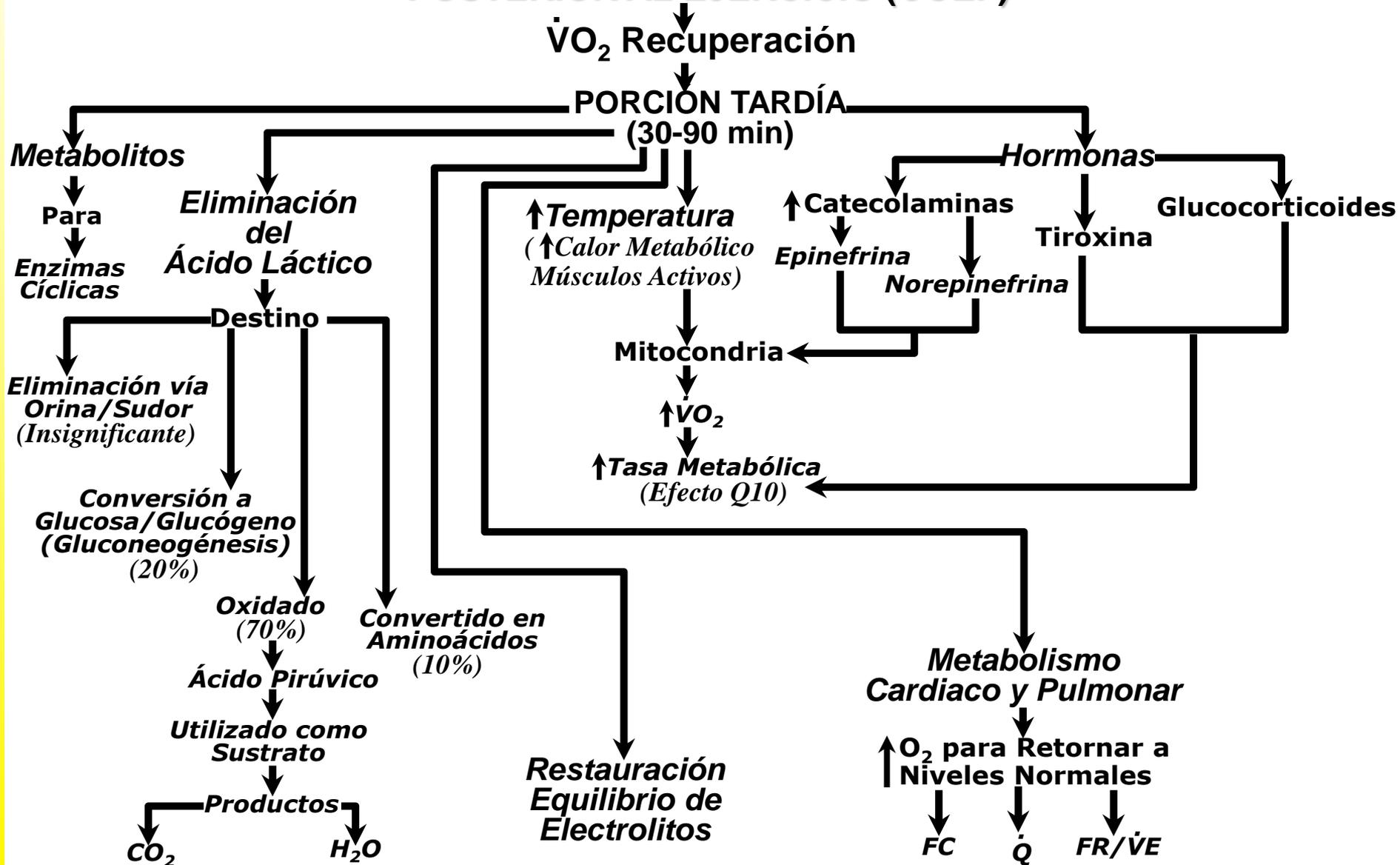


DÉFICIT DE OXÍGENO Y COEP (EPOC)



Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico: Consumo de Oxígeno en Exceso Postejercicio

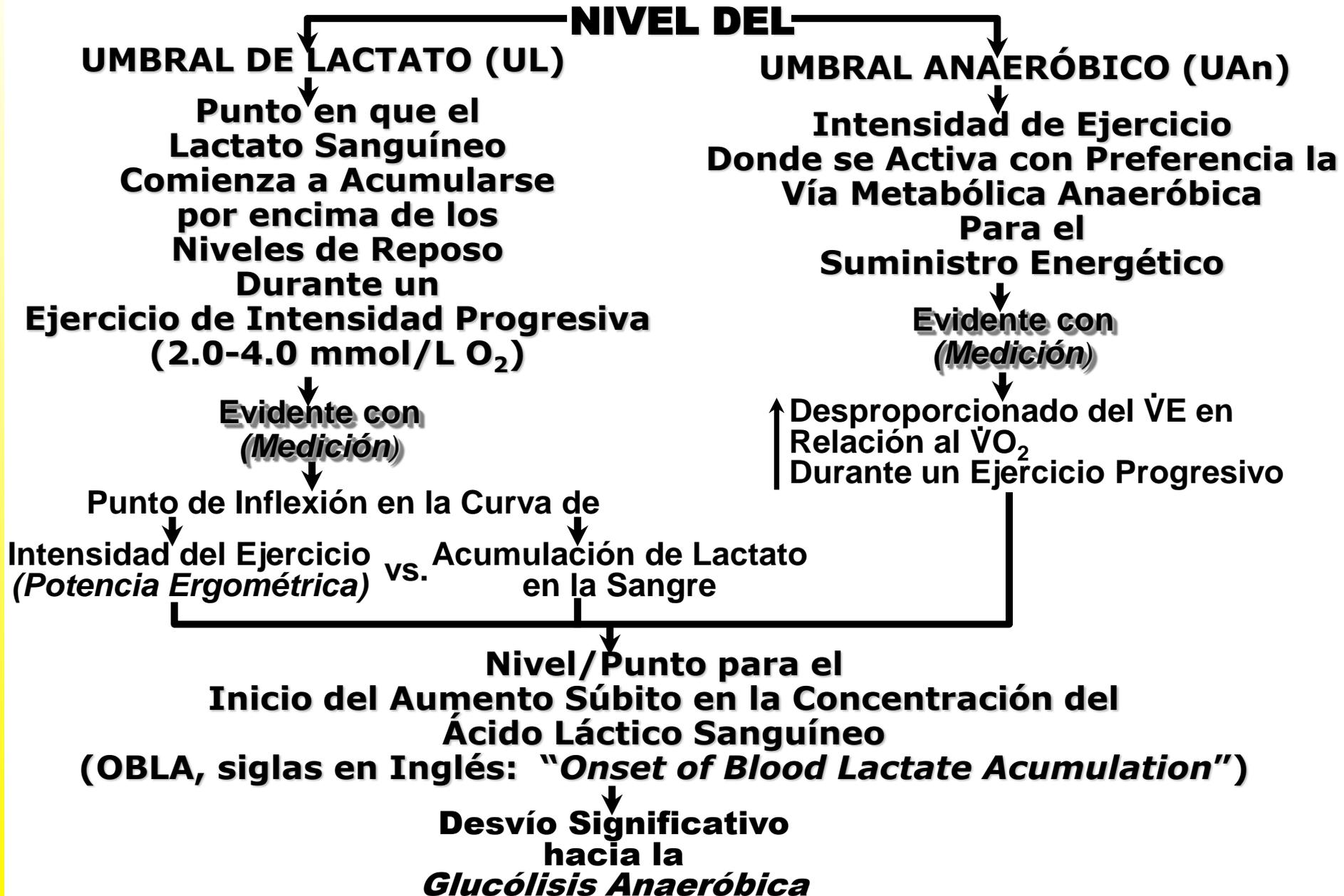
CONSUMO DE OXÍGENO EN EXCESO POSTERIOR AL EJERCICIO (COEP)



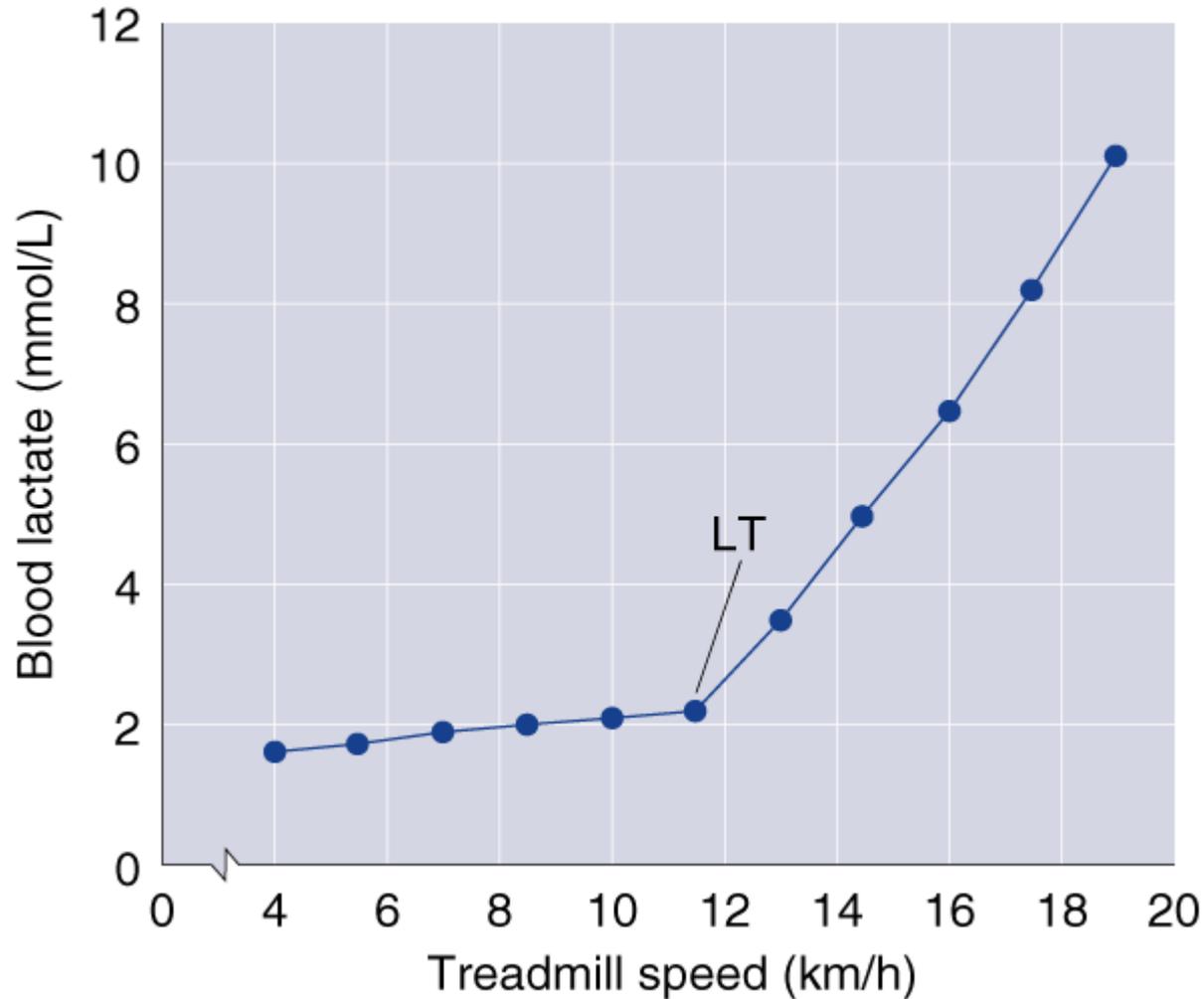
Factores Responsables para el COEP

- ◆ Restaurar los suministros de ATP Agotados
- ◆ Eliminar el lactato producido por el metabolismo aneróbico
- ◆ Reponer los suministros de O_2 prestados de la hemoglobina y mioglobina
- ◆ Remover el CO_2 que se acumuló en los tejidos corporales
- ◆ Aumento en las tasas metabólicas y respiratorias debido al incremento en la temperatura corporal y a los niveles de las catecolaminas (norepinefrina y epinefrina)

Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico: Nivel del Umbral de Lactato o Anaeróbico



INTENSIDAD DEL EJERCICIO Y ACUMULACIÓN DEL ÁCIDO LÁCTICO



Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico

**NIVEL DEL
UMBRAL DE LACTATO (UL)
(UMBRAL ANAERÓBICO [UAn])**



**EJERCICIO AGUDO
DE
INTENSIDAD PROGRESIVA**



**Durante la Actividad
más Intensa**



↑ Acumulación de Lactato

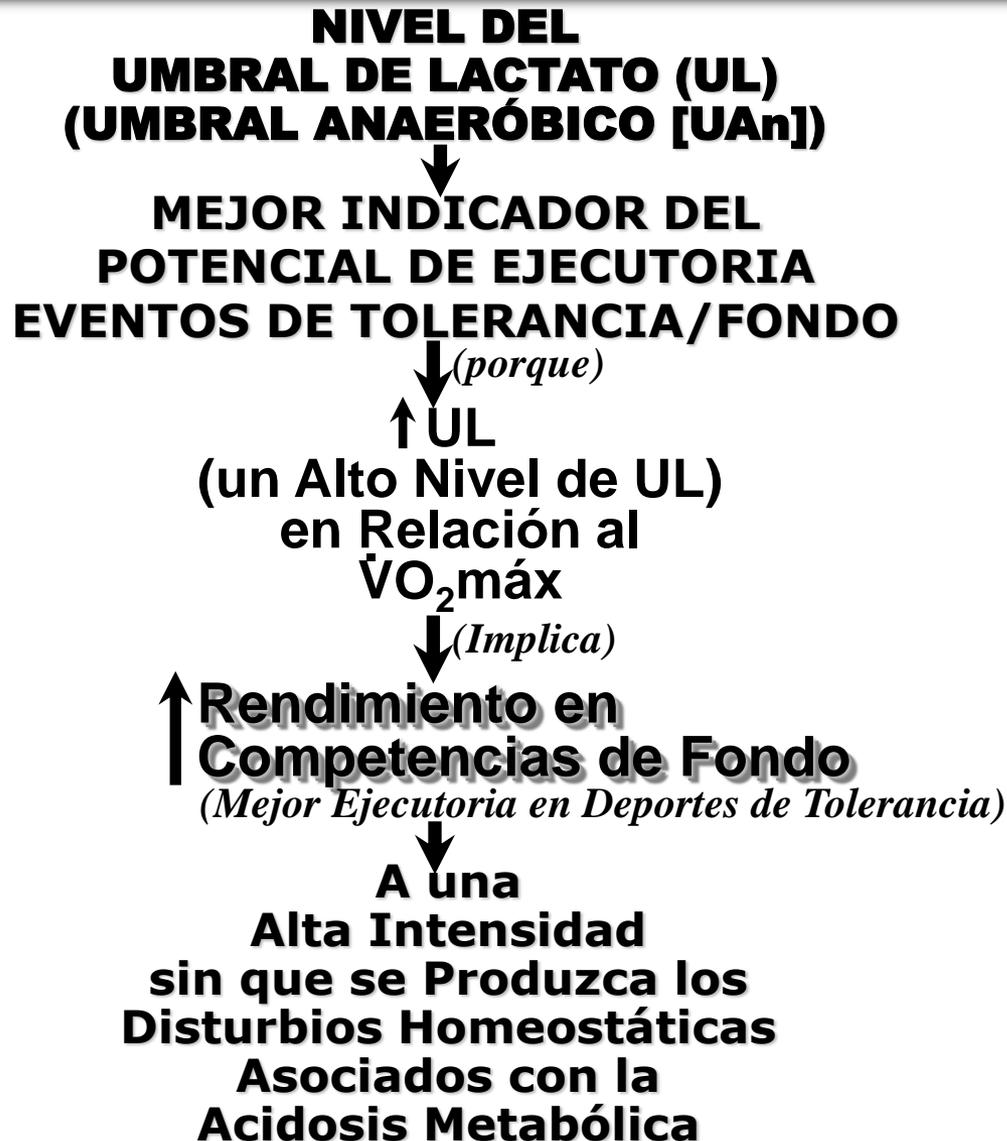


**Punto de Inicio para la
Acumulación del
Lactato Sanguíneo (OBLA)
(2.0 - 4.0 mmol/L O₂)**



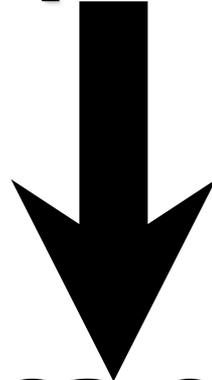
**GLUCÓLISIS ANAERÓBICA
(CAPACIDAD ANAERÓBICA)**

Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico

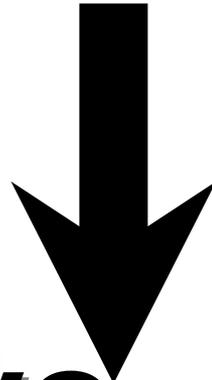


Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico

UL (OBLA)



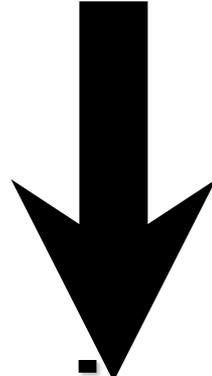
Se Expresa como un



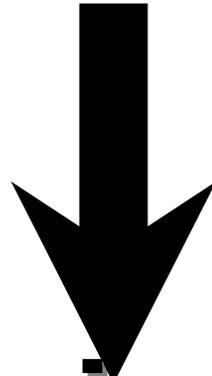
**% $\dot{V}O_2$ máx
(UL % $\dot{V}O_2$)**

Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico

↑UL % $\dot{V}O_2$



↑Tolerancia Aeróbica



**↑Rendimientos
↑Eventos de Fondo**

Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico

NIVEL DE UMBRAL DE LACTATO (UL) (UMBRAL ANAERÓBICO [UAN])

**Individuos
No Entrenados**

55 - 65 % $\dot{V}O_2$ máx

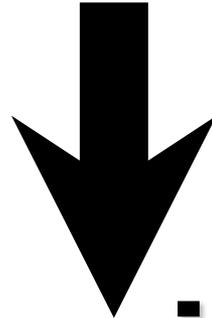
**Atletas Elites
de Tolerancia**

80% del $\dot{V}O_2$ máx

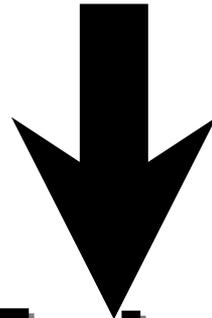
**Indica Mayor Tolerancia
Al Ejercicio**

Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico

Atletas Elites de Tolerancia

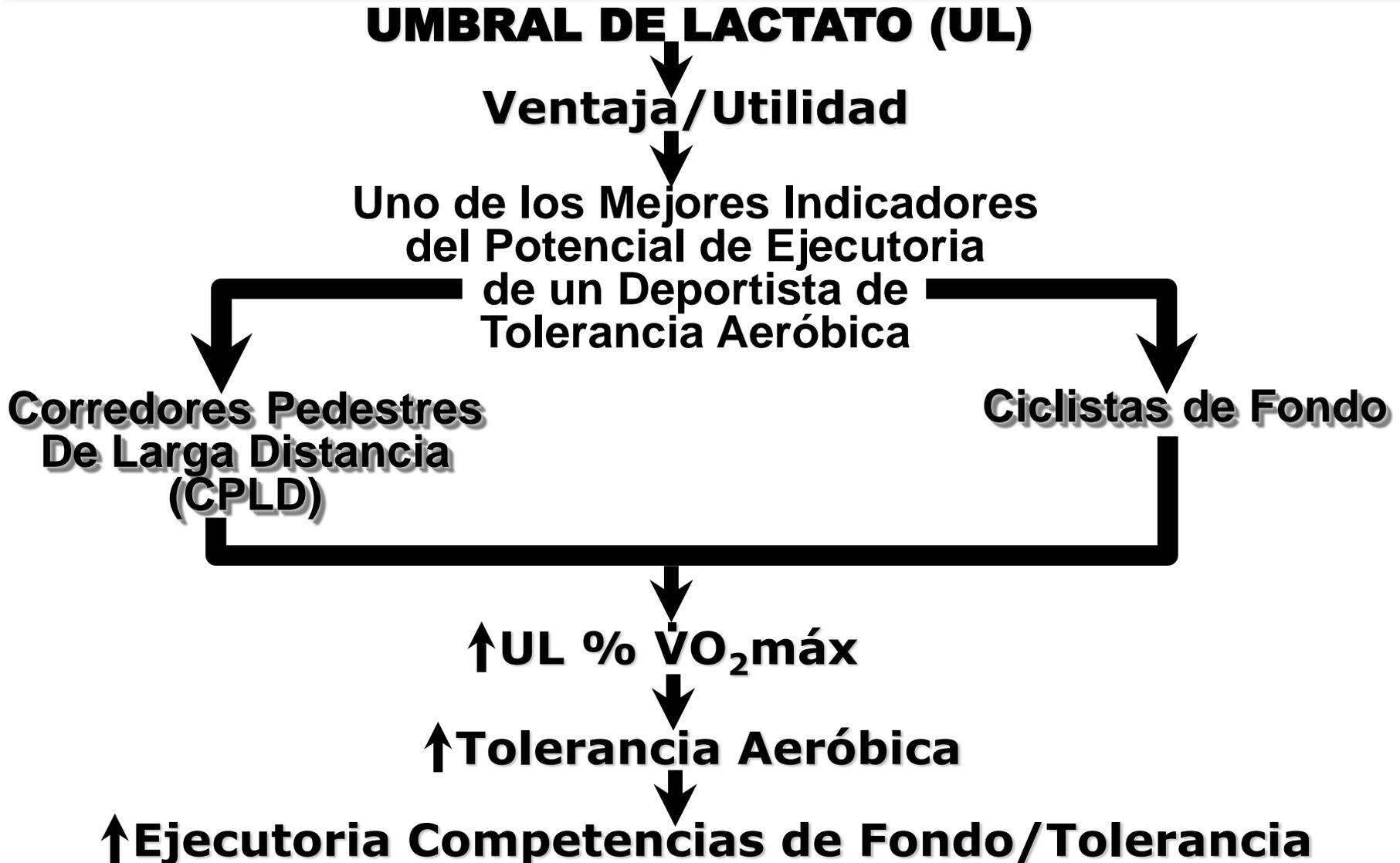


Compiten



**A una Intensidad
Levemente Mayor del
UL (OBLA)**

Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico

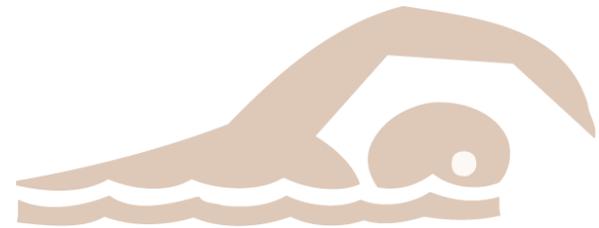


Estimaciones del Esfuerzo Anaeróbico



Umbral de Lactato

- ◆ El punto en el cual comienza la acumulación del lactato sanguíneo sobre los niveles en reposo durante un ejercicio de intensidad progresiva, donde la producción de lactato excede su eliminación
- ◆ El aumento súbito en el lactato sanguíneo que responde al incremento del esfuerzo puede ser el resultado de un aumento en la producción de lactato o a una reducción en la eliminación del lactato de la sangre
- ◆ Puede indicar un potencial para los ejercicios de tolerancia; la formación de lactato contribuye a la fatiga

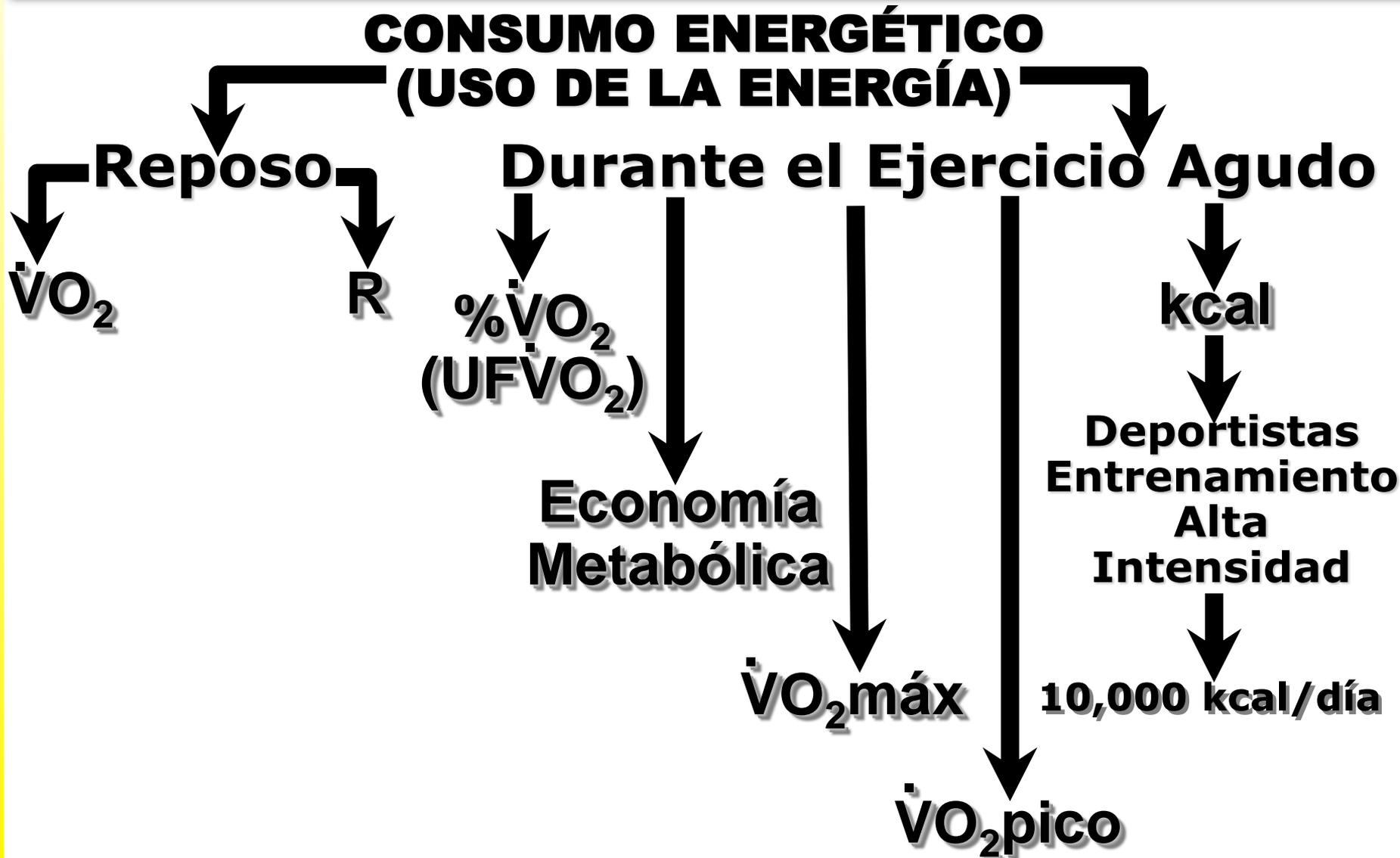


¿Sabía Usted...?

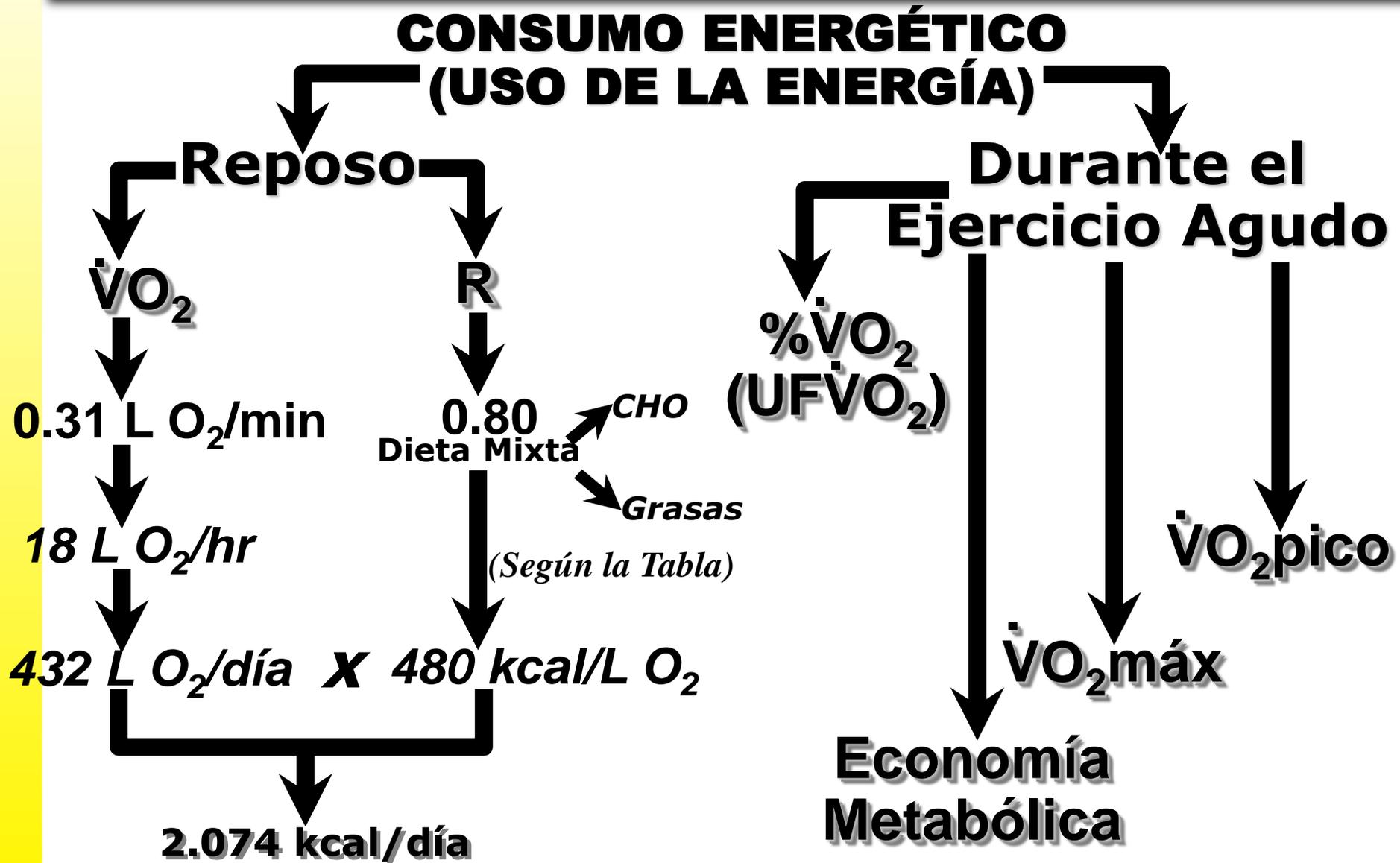
Cuando el umbral de lactato (UL) se expresa como un porcentaje del $\dot{V}O_2$ máx, representa uno de los mejores determinantes para la cadencia/paso del atleta en eventos de tolerancia, tales como carreras de fondo y el ciclismo. Mientras que individuos no entrenados típicamente poseen un UL cerca de 50% a 60% de su $\dot{V}O_2$ máx, los atletas elites alcanzan un UL más alto relativo al $\dot{V}O_2$ máx, esto es, entre 70% y 80% del $\dot{V}O_2$ máx.



Consumo Energético



Consumo Energético



Equivalentes Calóricos

- ◆ Equivalentes energéticos de los alimentos

CHO: 4.1 kcal/g

Grasas: 9.4 kcal/g

Proteína: 4.1 kcal/g

- ◆ Energía por litro de oxígeno consumido

CHO: 5.0 kcal/L

Grasas: 4.7 kcal/L

Proteínas: 4.5 kcal/L

Ejemplo: $\dot{V}O_2$ reposo = $0.300 \text{ L/min} \times 60 \text{ min/hr} \times 24 \text{ hr/día} = 432 \text{ L/día} \times 4.8 \text{ kcal/L} = 2,074 \text{ kcal/día}$

Consumo Energético

PROBLEMA:

- ♦ ¿Cuál es el consumo calórico en reposo diario para un individuo promedio (70 kg)?

CONOCIDO/DADO:

$$\dot{V}O_2 \text{ Reposo} = 0.3 \text{ L O}_2/\text{min} = 432 \text{ L O}_2/\text{día}$$

$$R = 0.80 = 4.80 \text{ kcal/L O}_2 \text{ consumido}$$

SOLUCIÓN:

Calorías Diarias, *kcal/día*

$$= \frac{\text{L O}_2}{\text{día}} \times \frac{\text{kcal}}{\text{L O}_2}$$

$$= \frac{432 \cancel{\text{L O}_2}}{\text{día}} \times \frac{4.80 \text{ kcal}}{\cancel{\text{L O}_2}}$$

$$= \boxed{2.074 \text{ kcal/día}}$$

Consumo Energético: Tasa Metabólica

CONSUMO ENERGÉTICO (USO DE ENERGÍA)

Reposo

Expresiones

Tasa Metabólica Basal (TMB)

Varía:

Promedio para
Actividades Cotidianas Normales

1,800 - 3,000 kcal

Tasa Metabólica en Reposo
(TMR)

(No Requiere que Duerma 8 horas)

Varía:

1,200 - 2,400 kcal/día

Consumo Energético: Tasa Metabólica

CONSUMO ENERGÉTICO (USO DE ENERGÍA)

Reposo

Tasa Metabólica Basal (TMB)

**Cantidad Mínima de Energía
Requerida para
Mantener las Funciones Fisiológicas Esenciales
del Cuerpo Humano**

Medición/Estimación

**Reposo, Posición Supina
Medido Después de
8 hr. de Sueño y
12 hr. de Ayuno**

Tasa Metabólica

- ◆ La tasa en la cual el cuerpo gasta energía en descanso y durante el ejercicio
- ◆ Medida como un consumo de oxígeno total del organismo y su equivalente calórico
- ◆ La tasa metabólica basal o en reposo (TMB) es la energía mínima requerida para las funciones fisiológicas esenciales (varía entre 1,200 y 2,400 kcal/24 hr)
- ◆ La energía mínima requerida para las actividades diarias normales puede fluctuar de 1,800 a 3,000 kcal/24 hr



Consumo Energético: Tasa Metabólica

TASA METABÓLICA BASAL (TMB)

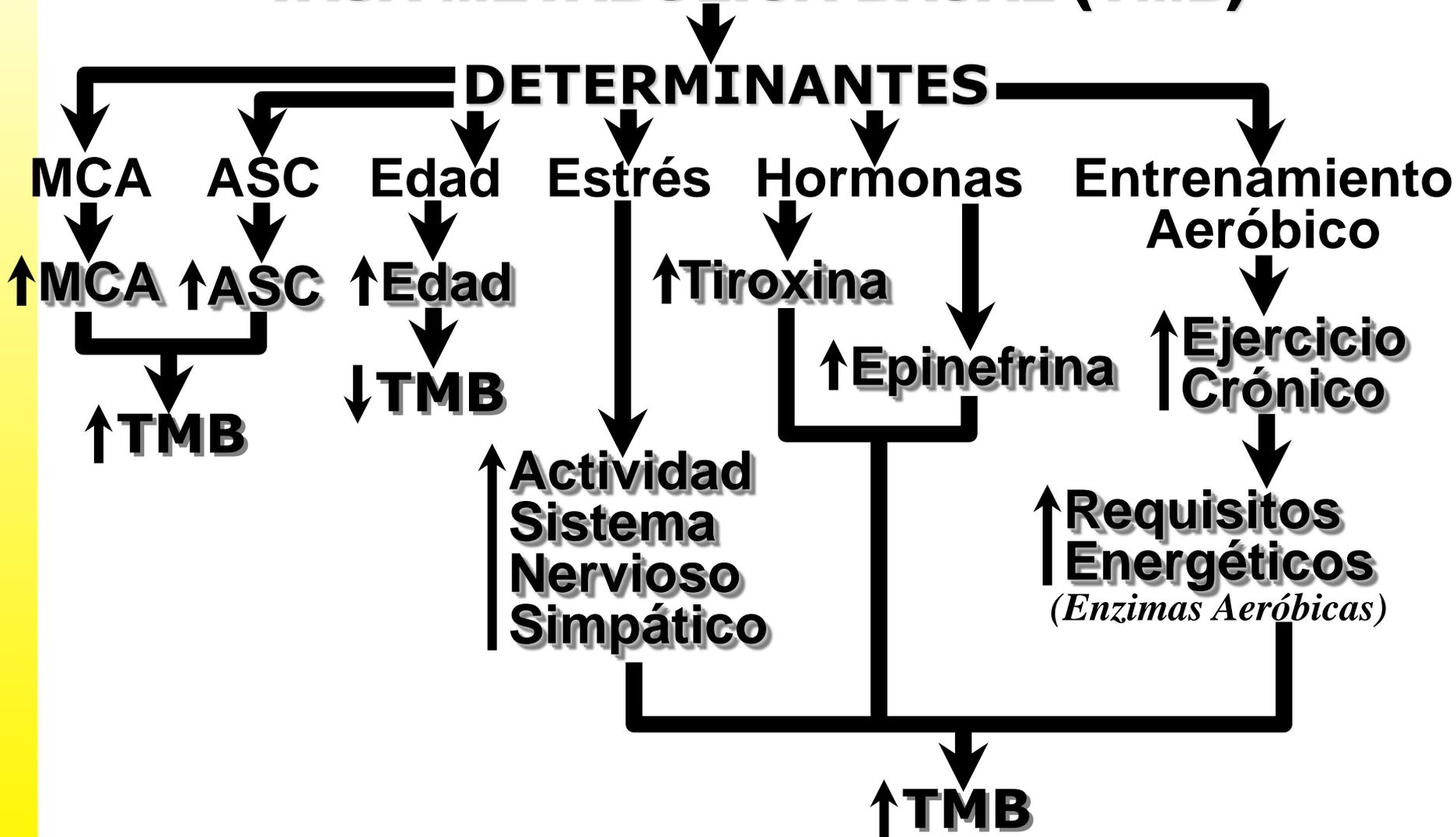


Factores que Afectan la TMB/TMR

- ◆ Entre mayor sea la **masa libre de grasa**, más alto será la TMR
- ◆ Entre mayor sea el **área de superficie corpora**, más alto será la TMR
- ◆ La TMR disminuye gradualmente con la **edad**
- ◆ La TMB aumenta con la **temperatura corporal**
- ◆ Entre mayor sea el **estrés**, más alto será la TMR
- ◆ Entre más alto sean los niveles de **tiroxina** y **epinefrina**, más alto será la TMR

Factores que Afectan la TMB/TMR

TASA METABÓLICA BASAL (TMB)



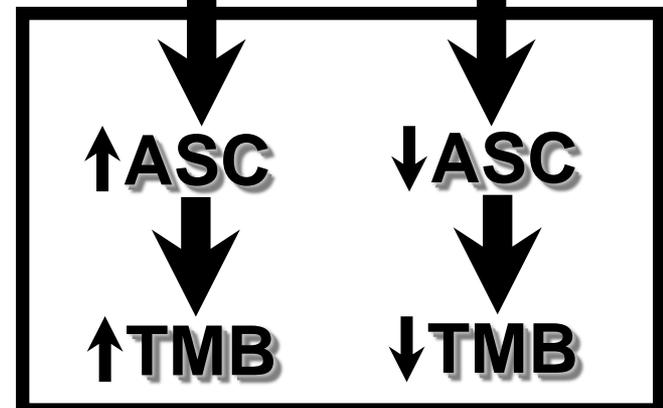
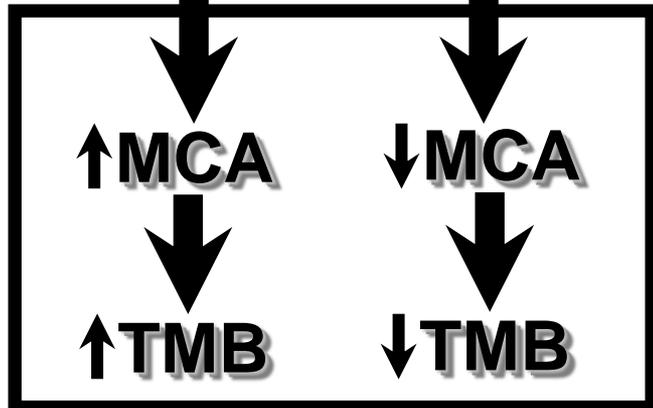
Factores que Afectan la TMB/TMR

TASA METABÓLICA BASAL (TMB)

DETERMINANTES
(Relación Directamente Proporcional)
(Positiva o Lineal)

Masa Corporal Activa
(MCA)

Área de Superficie Corporal
(ASC)

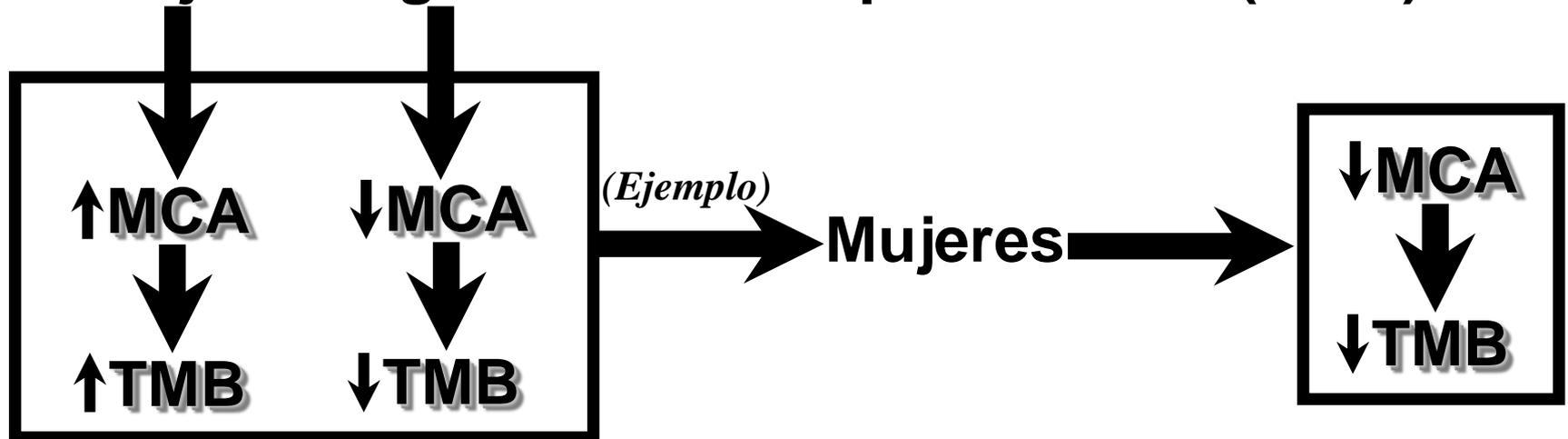


Factores que Afectan la TMB/TMR

TASA METABÓLICA BASAL (TMB)

DETERMINANTE
(Relación Directamente Proporcional)
(Positiva o Lineal)

**Cantidad de
Tejido Magro o Masa Corporal Activa (MCA)**



Factores que Afectan la TMB/TMR

TASA METABÓLICA BASAL (TMB)

DETERMINANTE
(Relación Directamente Proporcional)
(Positiva o Lineal)

Área de Superficie Corporal (ASC)

↑ASC

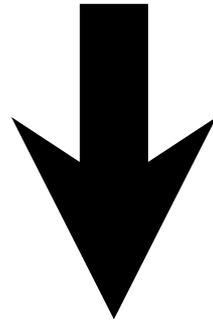
↑ Pérdida de Calor
↑ Vía Periferia (Piel)

↑ Requisitos de Energía
↑ para Mantener la
↑ Temperatura Corporal

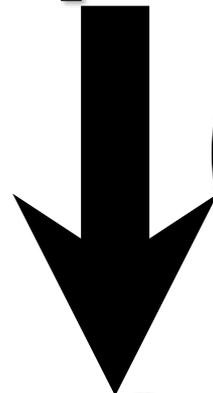
↑TMB

Consumo Energético: Ejercicio

**CONSUMO ENERGÉTICO
(USO DE ENERGÍA)**



Reposo



*(↑ Necesidades
Energéticas)*

EJERCICIO

Consumo Energético: Ejercicio Submáximo

EJERCICIO SUBMÁXIMO

↓
 $\dot{V}O_2$

(CONSUMO/COSTO ENERGÉTICO)

(ÍNDICE METABÓLICO)



Determinante

(Relación: Directamente Proporcional, Positiva o Lineal)



Potencia Ergométrica

(Intensidad)



↑ **Potencia Ergométrica**
(Intensidad)

↓ **Potencia Ergométrica**
(Intensidad)

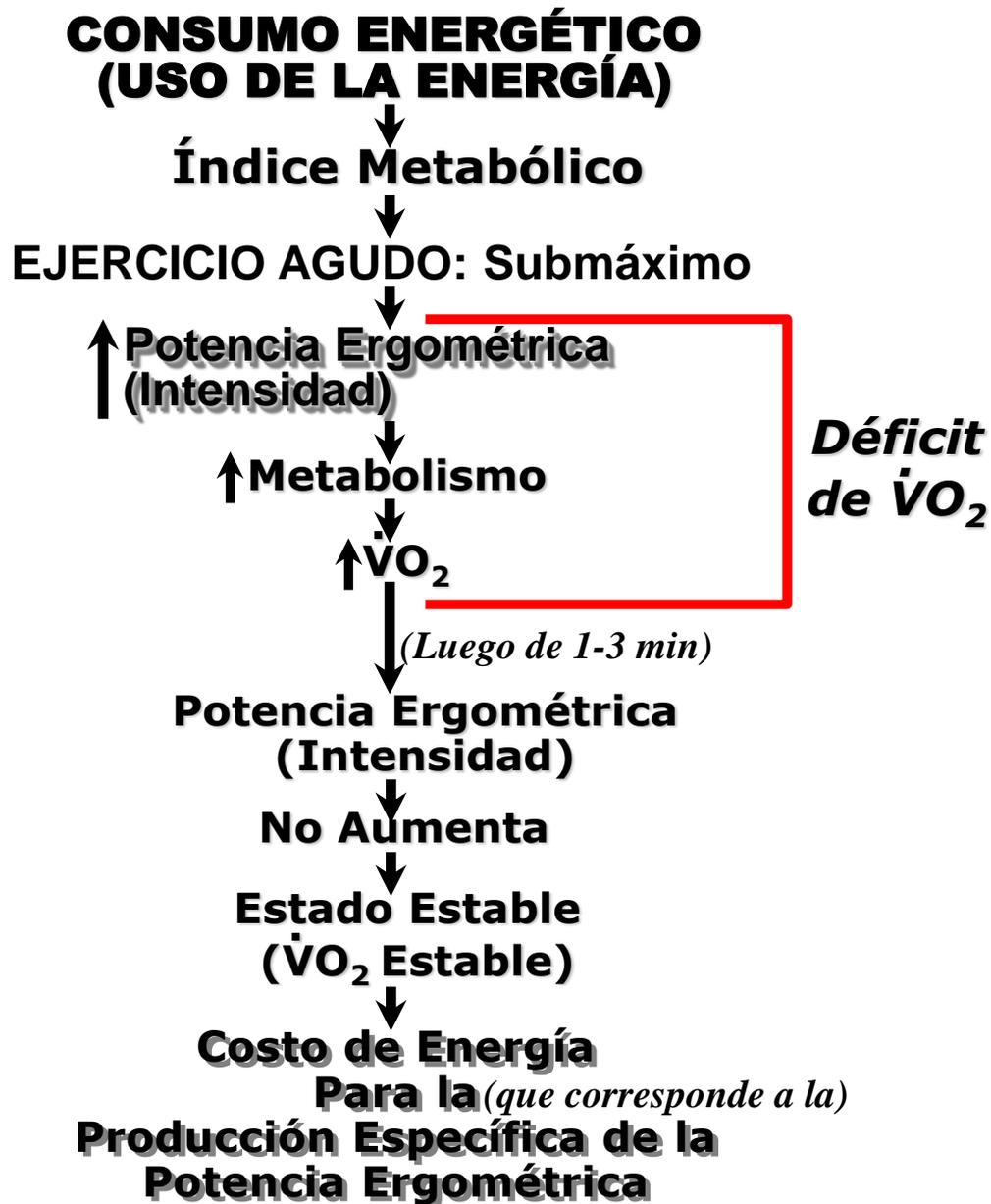
↑ **Metabolismo**

↓ **Metabolismo**

↑ $\dot{V}O_2$ *(Incremento Lineal)*

↓ $\dot{V}O_2$

Consumo Energético: Ejercicio Submáximo



Consumo Energético: Ejercicio Submáximo

**CONSUMO ENERGÉTICO
(USO DE LA ENERGÍA)**



Índice Metabólico



EJERCICIO AGUDO: Submáximo



**↑ Potencia Ergométrica
(Intensidad)**



Sobre el UL



↑ $\dot{V}O_2$ } *Componente Lento
de la
Cinética del $\dot{V}O_2$*

EJERCICIO SUBMÁXIMO: Índice Metabólico

COMPONENTE LENTO DE LA CINÉTICA DEL $\dot{V}O_2$

CAUSAS

↑ Costo de O_2
Asociado con la
Ventilación

Mecanismo
más
Probable/Predominante

↑ Temperatura
Corporal

Alteración en el
Reclutamiento de las
Fibras Musculares

Paso del
Sustrato Metabólico
de las Grasas
a los CHO

↑ Activación
Fibras FT

Requieren más $\dot{V}O_2$
para Conseguir la misma
Producción de Potencia

Consumo Energético: Ejercicio Submáximo

**CONSUMO ENERGÉTICO
(USO DE LA ENERGÍA)**



Índice Metabólico



EJERCICIO AGUDO: Prolongado y Submáximo



**Potencia Ergométrica (Intensidad):
*Estable/Constante***



Bastante por Abajo del UL



Lento $\uparrow \dot{V}O_2$



Desviación del $\dot{V}O_2$

EJERCICIO SUBMÁXIMO: Índice Metabólico

DESVIACIÓN DEL $\dot{V}O_2$

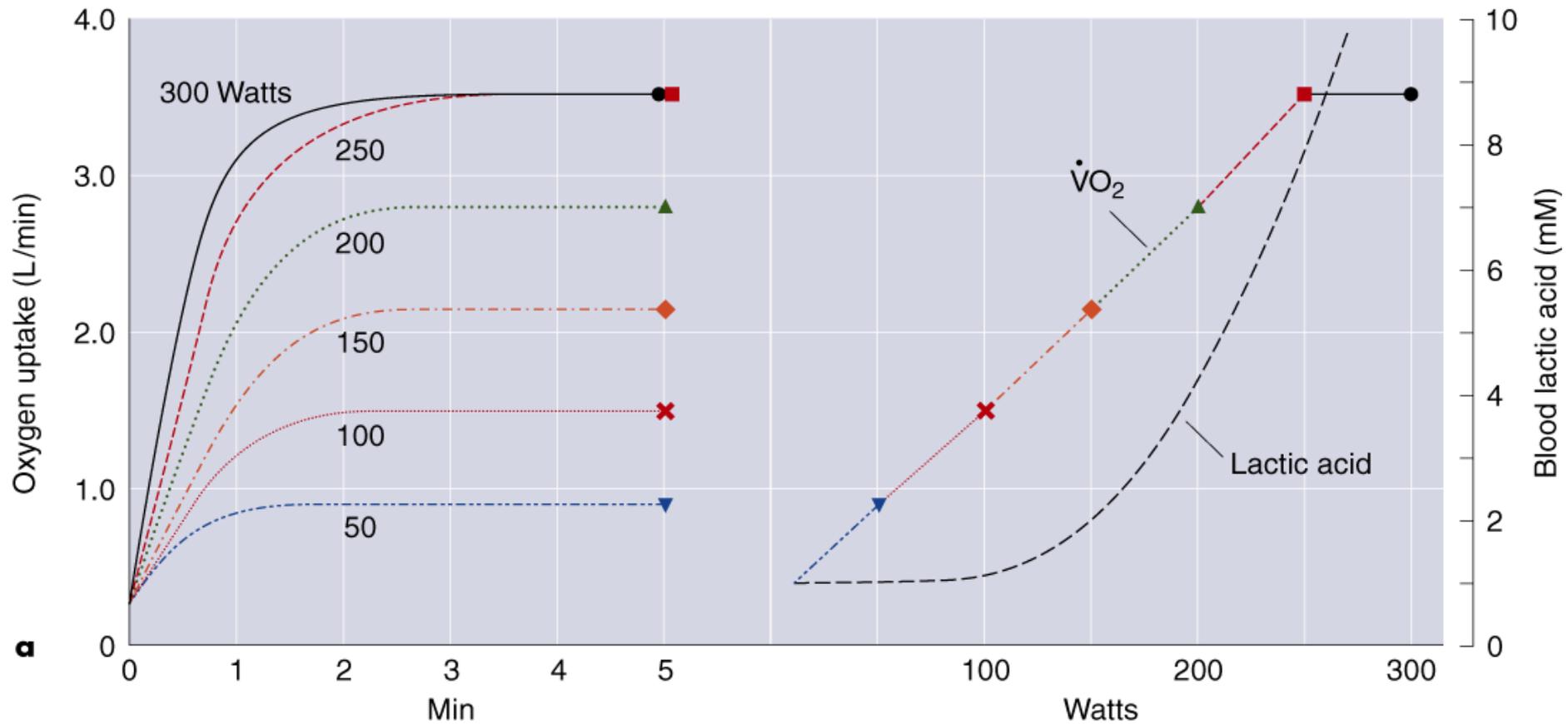
Causas

```
graph TD; A[DESVIACIÓN DEL V̇O₂] --> B[Causas]; B --> C[↑Ventilación]; B --> D[↑Catecolaminas Circulantes];
```

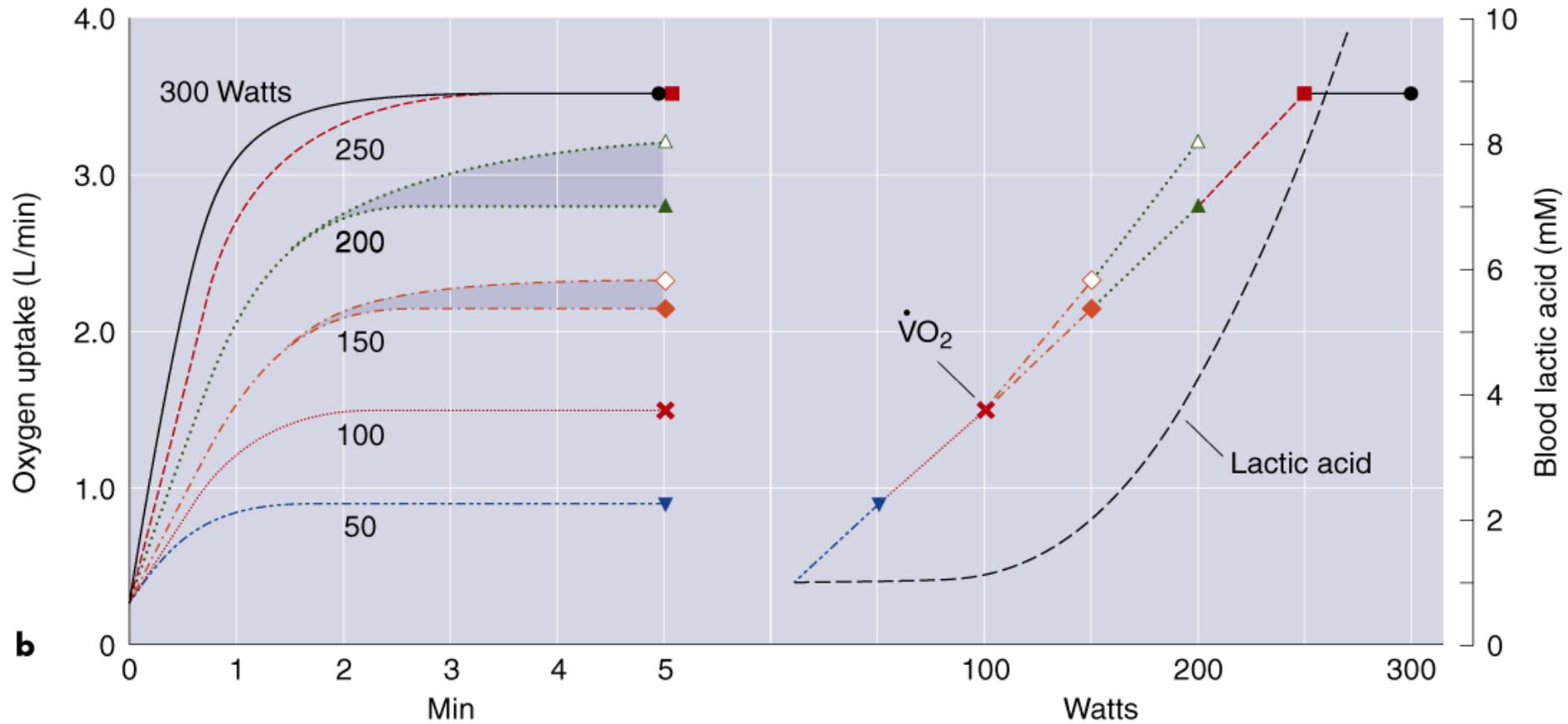
↑Ventilación

**↑Catecolaminas
Circulantes**

CONSUMO DE O₂ vs POTENCIA ERGOMÉTRICA O INTENSIDAD (1986)



CONSUMO DE O₂ vs POTENCIA ERGOMÉTRICA O INTENSIDAD (1996)



ATLETAS ELITES/DE ALTO RENDIMIENTO DE TOLERANCIA/FONDO (Ejemplo: Corredores Pedestres de Larga Distancia [CPLD])

INDICADORES/DETERMINANTES/FACTORES ASOCIADOS A UNA EJECUTORIA SOBRESALIENTE

(Predictores del Éxito, Índices para el Potencial de Ejecutoria)

Nivel del Umbral Anaeróbico/de Lactato (UAN ó UL)

↑ UL

Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{máx}$)
Relativo a la Masa Corporal
($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

↑ $\dot{V}O_2\text{máx}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

Utilización Fraccionada del $\dot{V}O_2\text{máx}$
($UF\dot{V}O_2\text{máx}$, $\% \dot{V}O_2\text{máx}$)

Economía Metabólica (EM)

↑ EM

Mantener el $\% \dot{V}O_2\text{máx}$ por Período de Tiempo Prolongado

($UF\dot{V}O_2\text{máx}$)

$\% \dot{V}O_2\text{máx}$ que Puede Mantener un Deportista Durante un Período de Tiempo prolongado

Utilización de Sustrato

Reservas de CHO/Glucógeno

Muscular

Hepático

Tipo de Fibra Muscular

Etapas Finales del Evento/Carrera

Dependerá de

↑ Fibras FT

Factores Antropométricos y de Composición Corporal

Masa Corporal

Peso Graso

Dimensiones del Cuerpo

Maratonistas
(Mantienen Durante el Evento)
75-80% $\dot{V}O_2\text{máx}$

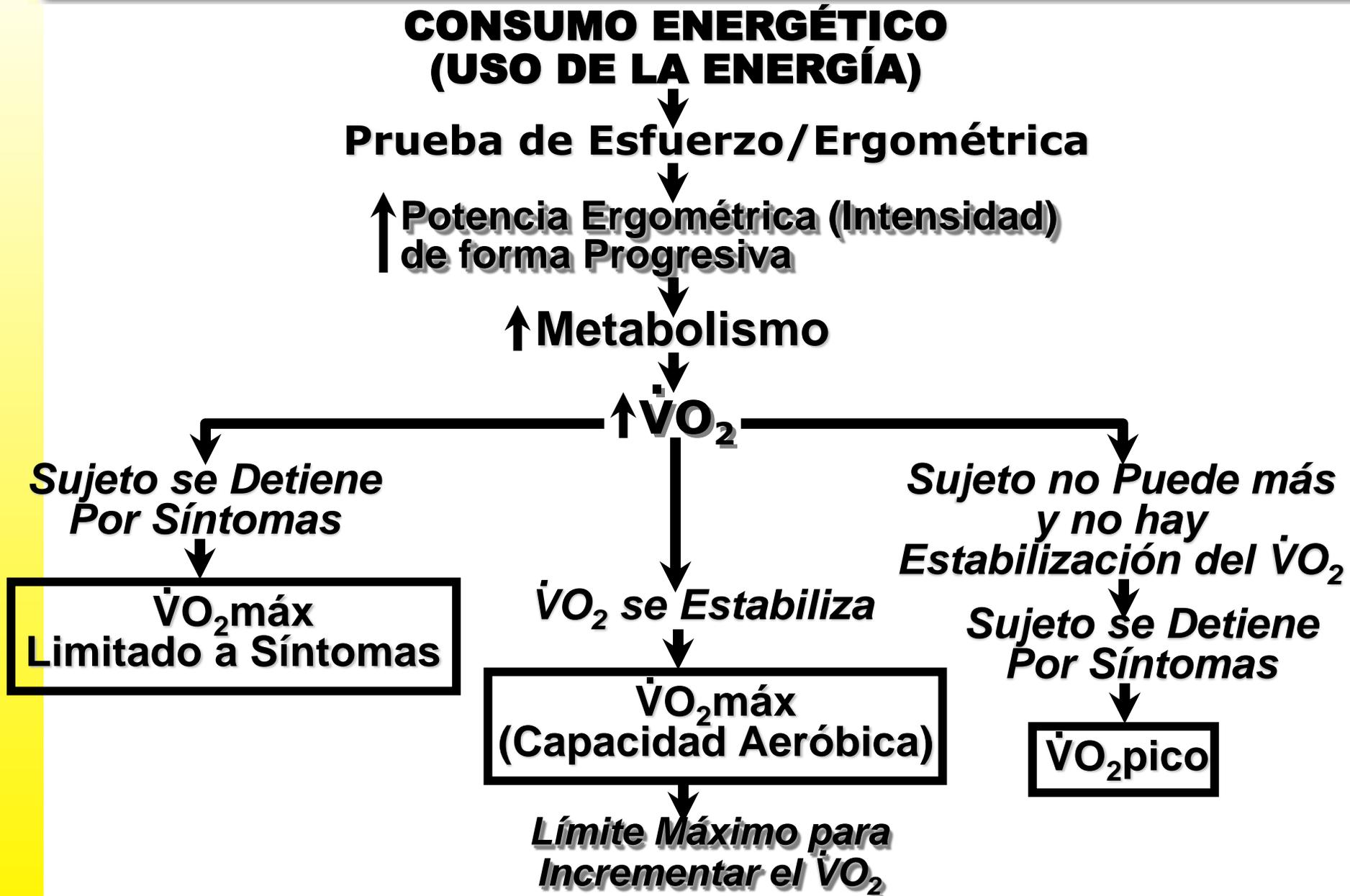
Ejemplo
CPLD
(Alberto Salazar)
86% de su $\dot{V}O_2\text{máx}$
↑ UL

Determinando el Éxito en Eventos de Tolerancia

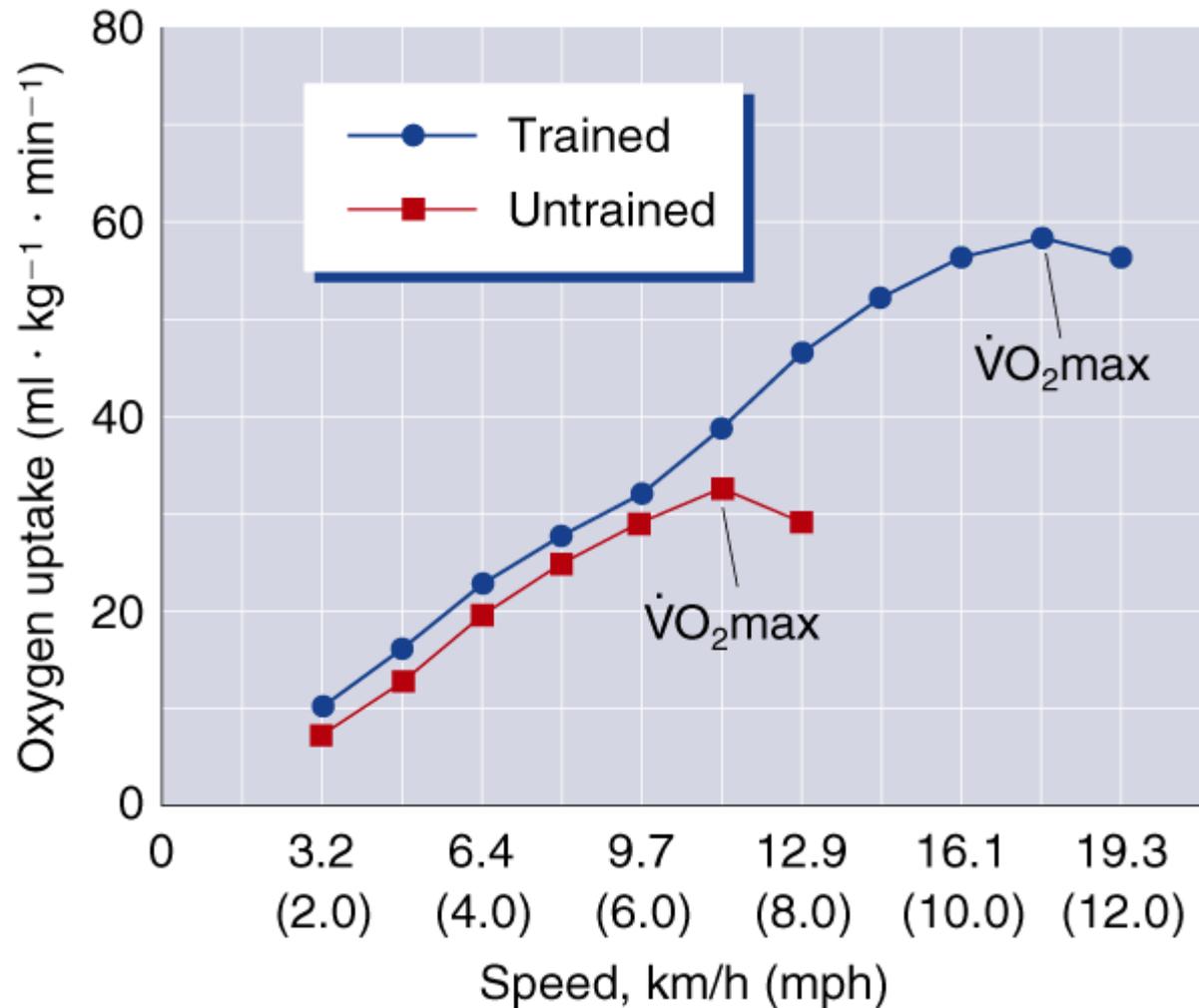
- ◆ Alto consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$ máx)
- ◆ Elevado umbral de Lactato
- ◆ Alta economía del esfuerzo (metabólica)
- ◆ Alto porcentaje de fibras musculares de contracción lenta



Capacidad Máxima para el Ejercicio



INTENSIDAD DEL EJERCICIO Y EL CONSUMO DE OXÍGENO



Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

↓
Volumen de O_2
que puede ser
Transportado y Utilizado
Durante un
Ejercicio Máximo
al Nivel del Mar

↓
Utilidad/Importancia

↓
El Mejor Indicador/Medición de la
Tolerancia Cardiorespiratoria Máxima
(Capacidad Aeróbica)

↓
Impone Demanda
en las Funciones de los
Sistemas

↓
Pulmonar

↓
Cardiocirculatorio

↓
*Enzimático
Encargado de la
Respiración Celular
vía Procesos
Oxidativos*

Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{max}$)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

FORMAS DE EXPRESARSE (VALORES)

RELATIVO

En relación a la
Masa Corporal (MC):

Militiltros de
Oxígeno Consumido
por Kilogramos de la
Masa Corporal por Minuto
($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

ABSOLUTO

NO Considera la
Masa Corporal (MC):

Litros de
Oxígeno Consumido
por Minuto
($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)

Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{max}$)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

FORMAS DE EXPRESARSE (VALORES)

RELATIVO

Relación a la
Masa Corporal (MC)

Mililitros de O_2 por kg de la MC
($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

*Para Comparar Atletas que
Practican Deportes que
Soportan su MC*

(Ejemplo)
CPLD

ABSOLUTO

NO Considera la
Masa Corporal (MC)

Litros de O_2 por Minuto
($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)

*Para Comparar Atletas que
Practican Deportes que
NO Soportan su MC*

(Ejemplos)
Ciclistas **Natación**

Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{max}$)



Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

**Determinante
para Propósito de Comparación**

Masa Corporal (MC)

(Porque)

**Las Necesidades Individuales de Energía
Varían con
el Tamaño del Cuerpo**

**Ventaja para Expresar el
 $\dot{V}O_2\text{máx}$
Relativo a la MC**

***Permite una
Comparación más Precisa de
Individuos de Tamaños Diferentes
Que Participan en Deportes que Requieren
Soportar su Propia MC***

(Ejemplo: Corredores Pedestres de Larga Distancia [CPLD])

Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{max}$)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2\text{máx}$)



**Deportes que NO Requieren
Soportar su MC
(Ejemplos: Natación, Ciclismo)**



**La Tolerancia Posee una
Relación más Estrecha
con el
 $\dot{V}O_2\text{máx}$ Absoluto
($L \cdot \text{min}^{-1}$)**

Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{max}$)

- ◆ Límite superior de la habilidad de una persona para aumentar el consumo de oxígeno.
- ◆ Buen indicador de tolerancia cardiorrespiratoria y aptitud aeróbica.
- ◆ Varía según el género (sexo), tamaño corporal, edad y se encuentra altamente influenciado por el nivel del entrenamiento aeróbico.
- ◆ Expresado relativo a la masa (peso) corporal, es decir, en mL de O_2 consumido por kg de masa corporal por min ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{max}$)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

Atletas Elites

Valores
Relativos

Varones

Mujeres

**CPLD y
Esquiadores de
Esquí Nórdico**

(entre)

80 y 84

$\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

**Valor más Alto
Campeón Noruego
Esquí Nórdico**

$94 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

**Valor más Alto
Campeona Rusa
Esquí Nórdico**

$74 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{max}$)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

Valores Promedios/Medios (RELATIVOS)

Estudiantes
Universitarios
Activos

(entre)

18 y 22 años

Mujeres

(entre)

38 y 42

$\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Varones

(entre)

44 y 50

$\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Adultos
poco
Entrenados

$\downarrow 20 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Población
Sedentaria

(Pasada la edad entre)

25 y 30 años

$\downarrow \dot{V}O_2\text{máx}$
 $\approx 1\%$ por año

Causas

Envejecimiento
Biológico

Estilos de Vida
Sedentario

Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

Valores Promedios
(Relativos)

Comparación entre
Géneros

En Mujeres Adultas
 $\dot{V}O_2\text{máx}$ Menor que
en los Varones

Posibles
Razones

Interrogantes

Variables
Contaminantes

Las Diferencias
en Género
Respecto al $\dot{V}O_2\text{máx}$

¿Se Deben a?

¿Diferencias
Fisiológicas?

¿Estilos de
Vida Sedentarios?

Luego de Alcanzar la
Madurez Sexual

Diferencias en

Composición
Corporal

(Masa Corporal Activa)

Mujeres

↓ MCA

↓ Metabolismo

↓ $\dot{V}O_2\text{máx}$

Varones

↑ MCA

↑ Metabolismo

↑ $\dot{V}O_2\text{máx}$

Contenido de Hemoglobina
En la Sangre

(Sistema de Transporte de [ST] O_2)

Mujeres

↓ Hb

↓ ST O_2

↓ $\dot{V}O_2\text{máx}$

Varones

↑ Hb

↑ ST O_2

↑ $\dot{V}O_2\text{máx}$

Utilización Fraccionada del Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

CONSUMO DE OXÍGENO MÁXIMO ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

Entrenamiento Físico
(Ejercicio Crónico)

Durante
8 - 12 Semanas

Luego

Se Nivelan
(a pesar de Seguir Entrenando)

¿Cómo Mejora su Rendimiento/Ejecutoria Deportiva?

↑% $\dot{V}O_2\text{máx}$ ó $UF\dot{V}O_2\text{máx}$

(Mayor Capacidad para Rendir un % $\dot{V}O_2\text{máx}$ Más Elevado)
(Capacidad para Mantener el $\dot{V}O_2\text{máx}$ por un Periodo Prolongado)

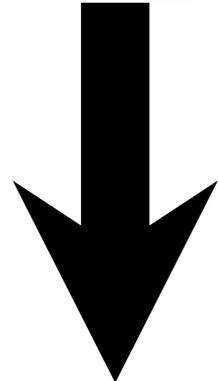
Ejemplo

CPLD Completan un Maratón de 42 km a

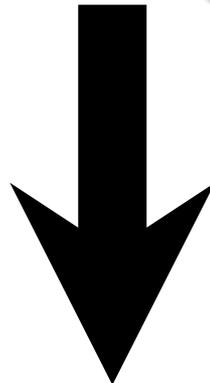
75-80% $\dot{V}O_2\text{máx}$

Utilización Fraccionada del Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{max}$)

↑UF $\dot{V}O_2\text{máx}$



Refleja



↑UL (UAN)

Umbral de Lactato (UL)



**Determinante Principal del
Ritmo que se Puede Tolerar en
Un Evento/Competencia Deportivo
de Tolerancia
(de Larga Distancia)**



Implica



**Mantener por un
Periodo Prolongado un
Alto % $\dot{V}O_2\text{máx}$
($\uparrow UF\dot{V}O_2\text{máx}$)**

Utilización Fraccionada del Consumo de Oxígeno Máximo ($\dot{V}O_2\text{máx}$)

UTILIZACIÓN FRACCIONADA DEL $\dot{V}O_2\text{máx}$ ($UF\dot{V}O_2\text{máx}$ ó $\% \dot{V}O_2\text{máx}$)

↓

La Capacidad para la
Utilización del $\dot{V}O_2\text{máx}$
por un
Periodo de Tiempo Prolongado

↓

Refleja el
Expendio Energético
Relativo al $\dot{V}O_2\text{máx}$

↓

Fórmula:

$$UF\dot{V}O_2\text{máx} = \frac{\dot{V}O_2 \text{ durante Carrera Pedestre (mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})}{\dot{V}O_2\text{máx (mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})} \times 100$$

UF $\dot{V}O_2\text{máx}$



**Correlaciona Significativamente con
Ejecutorias a Diferentes Distancias
entre 5 y 42 km**

Economía Metabólica (EM)

ECONOMÍA METABÓLICA (EM)

↓ (Ahorro de Energía)

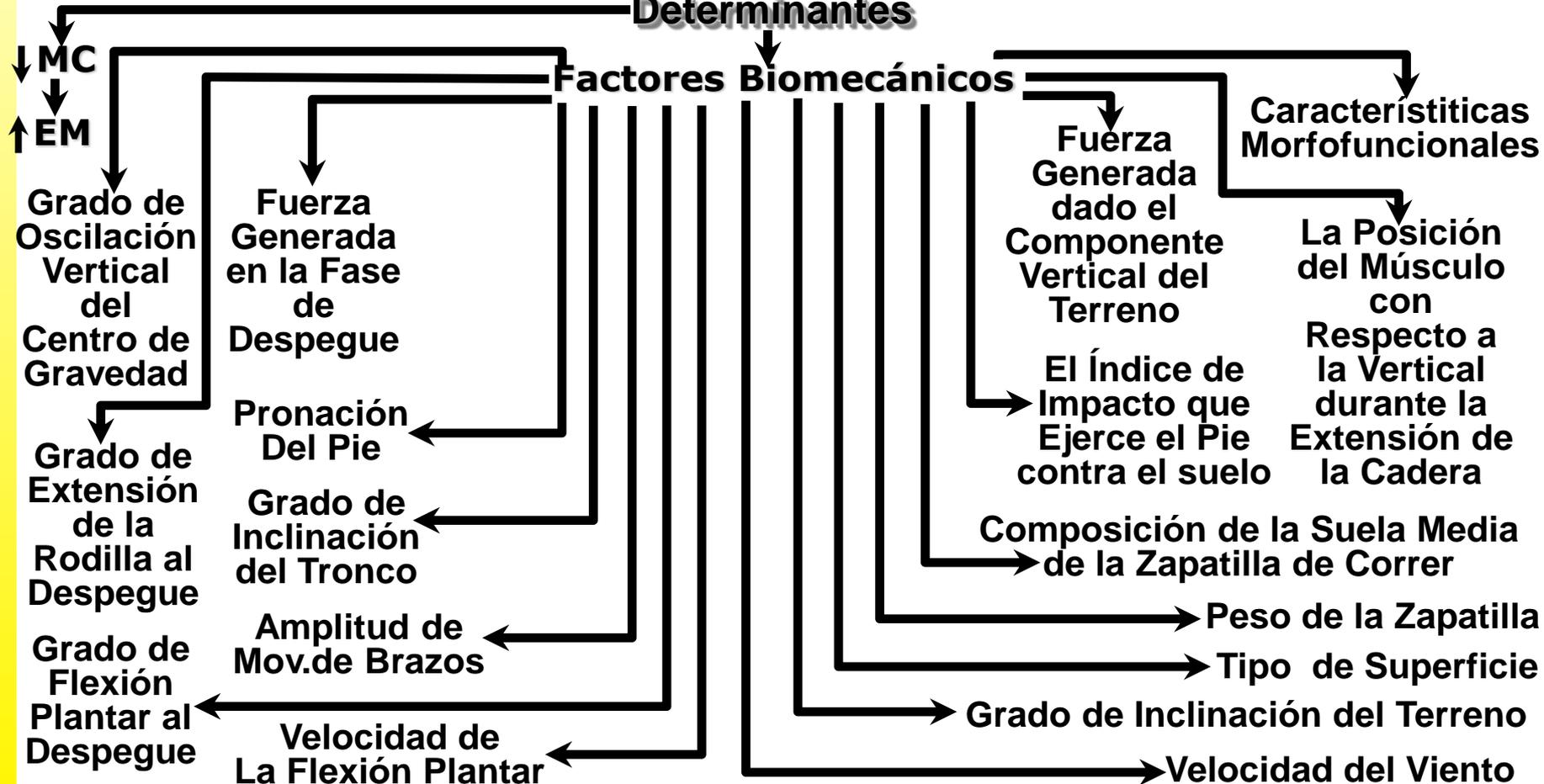
$\dot{V}O_2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

durante una

Carrera Pedestre (CP) Submáxima



Determinantes



Economía Metabólica (EM)

ECONOMÍA METABÓLICA (EM)

VENTAJA

Evita un Gasto Innecesario de Energía

**Facilita el
Mantenimiento de
una Velocidad Dada
por un Mayor Tiempo**

**↑ Velocidad de Traslación
a un Gasto Energético Dado**

Economía Metabólica (EM)

ECONOMÍA METABÓLICA (EM)



**Variabilidad de las
Características Morfofuncionales**



(Causa)

Variables Biomecánicas



Patrón de Movimiento Metabólicamente Económico



**VARÍA ENTRE CPLD
(EM Varía entre Atletas)**



(Causa)

**Diferencias en
Características Morfofuncionales**

Economía Metabólica (EM)

ECONOMÍA METABÓLICA (EM)

Varía entre Atletas

Razón

**Diferencias en las
*Características Morfofuncionales***

(Por lo tanto)

**No son Iguales para todas las
VARIABLES BIOMECÁNICAS**

Que Representan

**Patrón de Movimiento
Metabólicamente Económico**

Economía Metabólica (EM)

ECONOMÍA METABÓLICA (EM)

Varía entre Atletas

Razón

**Diferencias en las
*Características Morfofuncionales***

Por lo tanto

**No son Iguales para todos los Atletas
(Varían)**

**Las Variables Metabólicas
Que Representan un**

PATRÓN DE MOVIMIENTO METABÓLICAMENTE ECONÓMICO

Economía Metabólica (EM)

ECONOMÍA METABÓLICA (EM) (ECONOMÍA DEL ESFUERZO)

↓ $\dot{V}O_2$, mL · kg⁻¹ · min⁻¹
durante

Intensidad Submáxima
(Ej: Velocidades Relativamente Bajas)
(Entre 10 y 19 km/h)

↓ **Uso de Energía durante el Ejercicio/Competencia**
(↓ Demandas de Energía durante Evento Deportivo)

Evita Gasto Innecesario de Energía
(Ahorro de Energía)

↑ **Eficacia de la Competencia/Evento**
(Ej: CPLD, Maratonistas)

VENTAJA COMPETITIVA

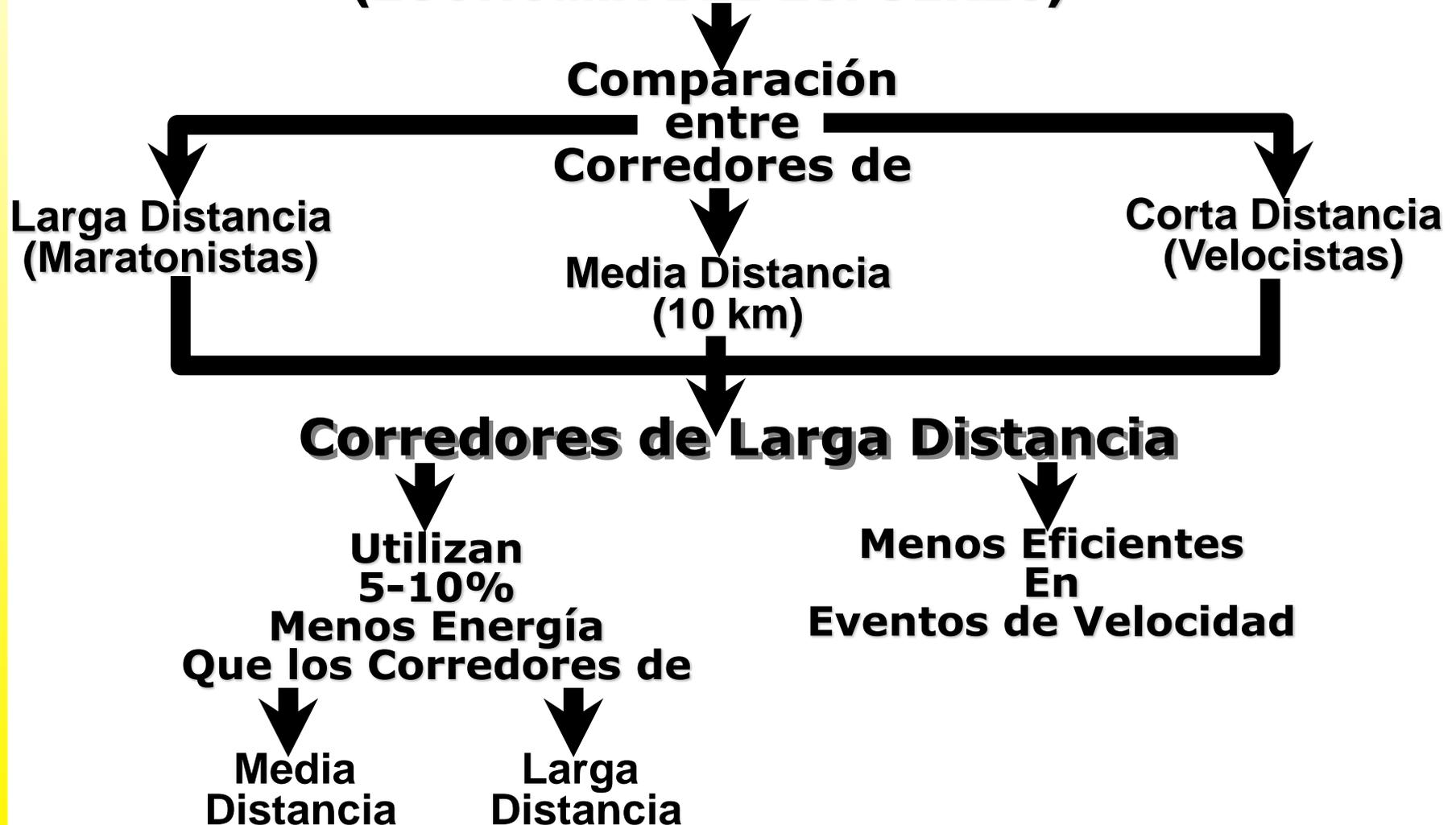
Razón

↑ **Capacidad para Sustener
una Velocidad dada por un
Mayor Periodo de Tiempo**

↑ **Velocidad de Traslación
a un Gasto Energético Dado**

Economía Metabólica (EM)

ECONOMÍA METABÓLICA (EM) (ECONOMÍA DEL ESFUERZO)



ECONOMÍA METABÓLICA (EM) (ECONOMÍA DEL ESFUERZO)

Determinantes

**Factores
Biomecánicos**

**Variaciones en la
Forma de Correr
(Eficacia del Movimiento)**

(Ejemplo)

**Grado de
Oscilación/Movimiento Vertical
del Centro de Gravedad
al Correr**

EJEMPLO

Corredores de Media y Corta Distancia

Movimiento Vertical al Correr entre 11 y 19 km/h
en comparación con los
Corredores de Larga Distancia

(La realidad es que son)

**Velocidades muy por Debajo
de las Requeridas durante Carreras de
Media y Corta Distancia**

(Probablemente no reflejan con precisión la eficacia en las)

**Pruebas más Cortas
(Ej: 1,500 m o de Menos Distancia)**

Economía Metabólica (EM)

ECONOMÍA METABÓLICA (EM) (ECONOMÍA DEL ESFUERZO)

NADADORES

Determinantes de la EM

Factores Biomecánicos

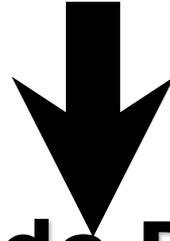
Eficacia del Movimiento

EJEMPLO

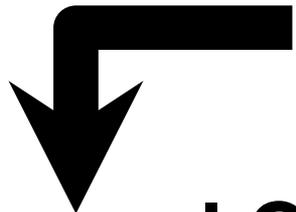
**Aplicación Eficaz de la
Fuerza Contra el Agua**

Economía Metabólica (EM)

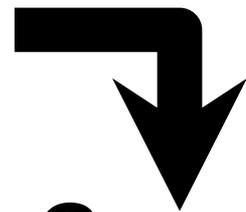
NATACIÓN



**Destino de Parte de la
Energía Gastada**



**Sostener el Cuerpo
Sobre la
Superficie del Agua**



**Para Generar
Suficiente
Fuerza para
Superar la
Resistencia del
Agua al Movimiento**

Economía Metabólica (EM)

NATACIÓN



Requisitos Energéticos



Determinantes



**Factores
Morfológicos**

**Dimensiones/Tamaño
del Cuerpo**

**Flotabilidad
del Cuerpo**

Economía Metabólica (EM)

ECONOMÍA METABÓLICA (EM) (ECONOMÍA DEL ESFUERZO)

**Comparación
entre**

Nadadores y Triatletas Elites

NADADORES

↑Eficacia en la Competición (Ej: 400 m)

↓ $\dot{V}O_2$ L/min Durante Evento

(Nadan a Mayor Velocidad con Menos $\dot{V}O_2$)

Economía Metabólica (EM)

**FACTORES QUE DETERMINAN
EL ÉXITO COMPETITIVO**

↓
Uno de Ellos

**FACTORES BIOMECAÑICOS
(Técnica)**

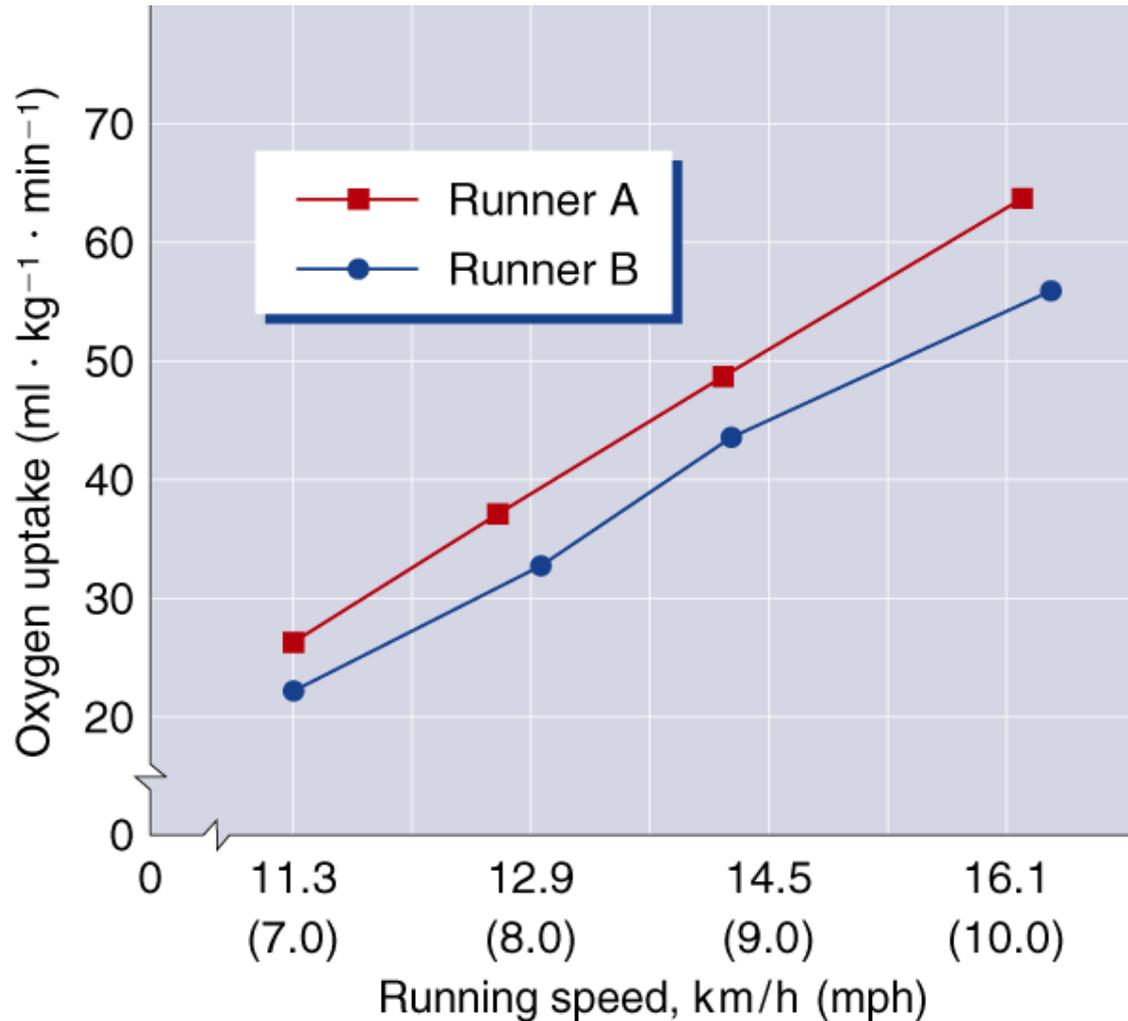
↓
↑ EM

↙ ↘
Entrenamiento

de la

↙ ↘
Fortaleza Tolerancia

REQUISITOS DE OXÍGENO DE DOS CORREDORES

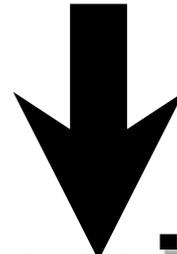


Coste Energético de Varias Actividades

ACTIVIDADES FÍSICAS/EJERCICIO



COSTE ENERGÉTICO, kcal/min
(Cantidad de Energía Gastada)



Coste Energético de Varias Actividades

ACTIVIDADES FÍSICAS/EJERCICIO

COSTE ENERGÉTICO

Las Tablas

No Consideran

**Los Aspectos
Anaeróbicos**

El COEP

Recuperación

↑ Coste Total de la Actividad

Coste Energético de Varias Actividades

ACTIVIDADES FÍSICAS/EJERCICIO



COSTE ENERGÉTICO



Determinación



**Basado en el
 $\dot{V}O_2$**



**Se Estima el
 $\dot{V}O_2$ Promedio**



(Se Convierte en)

kcal/min

Coste Energético de Varias Actividades

ACTIVIDADES FÍSICAS/EJERCICIO

COSTE ENERGÉTICO

Determinantes

TMB:
**Energía Requerida
en Reposo**

**Energía Requerida
en las
Actividades Físicas
Diarias**

**Total del
Coste Energético**

Coste Energético de Varias Actividades

ACTIVIDADES FÍSICAS/EJERCICIO

PERSONA PROMEDIO

Coste Energético en Reposo

VO_2 : 0.20 - 0.35 L · min⁻¹

1.0 - 1.8 kcal · min⁻¹

60 - 108 kcal · h⁻¹

1.440 - 2.592 kcal · día⁻¹

Coste Energético de Varias Actividades

ACTIVIDADES FÍSICAS/EJERCICIO

**COSTE ENERGÉTICO
TOTAL DIARIO**

Determinantes

**Nivel de
Actividad Física
y Ejercicio**

Edad

**Género
(Sexo)**

**Tamaño
Corporal**

**Masa
Corporal**

**Composición
Corporal**

Factores que Afectan los Costos de Energía

- ◆ Tipo de actividad
- ◆ Nivel de Actividad
- ◆ Edad
- ◆ Género (sexo)
- ◆ Tamaño, peso y composición corporal
- ◆ Intensidad de la actividad
- ◆ Duración de la actividad
- ◆ Eficiencia del movimiento



Coste Energético de Varias Actividades

ACTIVIDADES FÍSICAS/EJERCICIO

**ACTIVIDADES DEPORTIVAS
(DEPORTES)**

Determinantes

TMB

**Tasa
Metabólica
Basal**

Duración

**del
Ejercicio/Deporte**

Intensidad

**del
Ejercicio/Deporte**

Gasto Energético en Reposo y Durante el Ejercicio

- ♦ La tasa metabólica basal (TMB) representa la cantidad mínima de energía requerida por el cuerpo para las funciones fisiológicas básicas.
- ♦ La tasa metabólica en reposo (TMR) es prácticamente equivalente a la TMB.
- ♦ Tu metabolismo aumenta conforme también aumenta la intensidad del ejercicio.
- ♦ El consumo de oxígeno aumenta durante el ejercicio hasta alcanzar un nivel máximo ($\dot{V}O_2\text{max}$).

(continúa)

Gasto Energético en Reposo y Durante el Ejercicio

- ♦ El consumo de oxígeno en exceso posterior al ejercicio (COEP) representa la elevación del consumo de O_2 sobre los niveles en reposo luego del ejercicio; es causado por diversos factores.
- ♦ El nivel del umbral de lactato representa el punto en el cual comienza la acumulación del lactato sanguíneo sobre los niveles en reposo durante el ejercicio, donde la producción de lactato excede su eliminación.

(continúa)

Gasto Energético en Reposo y Durante el Ejercicio

- ♦ Los individuos con niveles del umbral de lactato más alto, expresado como un porcentaje del $\dot{V}O_2$ máx, poseen el potencial de una mejor ejecutoria deportiva de tolerancia.
- ♦ Comúnmente, a mejoría en el rendimiento implica que un individuo puede ejecutar su evento competitivo durante periodos de tiempo prolongados a un nivel más alto del porcentaje de su $\dot{V}O_2$ máx.
- ♦ La capacidad para mejorar el rendimiento deportivo de tolerancia puede mejorar al aumentar la economía del esfuerzo.

FATIGA

Sensaciones Generales de Cansancio y Reducciones Acompañantes del Rendimiento Muscular

Causas/Determinantes

Sistemas Energéticos

(ATP-PC, Glucólisis Anaeróbica, Metabolismo Oxidativo/Aeróbico)

Agotamiento de Sustratos

(Combustibles Metabólicos)

PC Glucosa Glucógeno

↓ ATP

↓ Energía

Acumulación de Desechos Metabólicos

↑ H⁺ Intramuscular

↑ Ácido Láctico Intramuscular

↓ pH Muscular

Acidosis Metabólico

↓ Liberación de Ca⁺

Sistema Nervioso

Función Neuromuscular

↓ Transmisión Nerviosa

Sistema Nervioso Central (SNC)

↓ Activación Mental (↓ Motivación)

↓ Reclutamiento Fibras Musculares

Fibras Musculares

↓ Mecanismo Contractil

Factores Metereológicos

↑ Tensión Ambiental

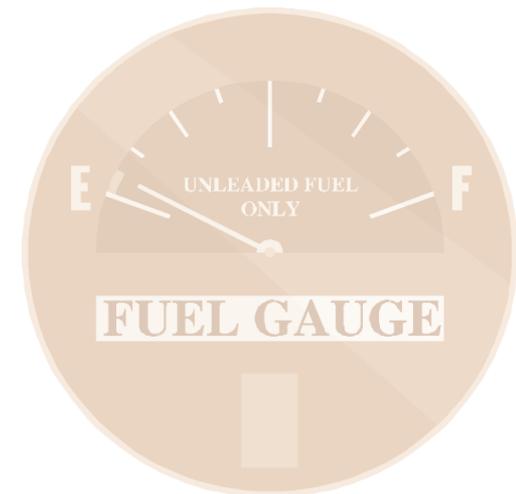
↑ Temp ↑ Humedad Relativa

↑ ↓ Presión Barométrica (Ej: Altitud)

↓ Capacidad Muscular para Generar Fuerza

Fatiga y sus Causas

- ◆ Agotamiento de la fosfocreatina (PCr)
- ◆ Agotamiento del glucógeno (especialmente en actividades que poseen una duración mayor de 30 minutos)
- ◆ Accumulación de lactato y H^+ (especialmente en eventos menores de 30 minutos)
- ◆ Fatiga neuromuscular



Fatiga y sus Causas: Sistemas Energéticos

FATIGA → Causas → Sistemas Energéticos → ↓PC

↓
**Carreras de Velocidad
sin Descanso ó
*Inicio Rápido de una
Carrera de Fondo***

↓ (↑↑ *Intensidad*)

Contracciones Máximas Repetidas

↓ **Restauración Rápida del ATP**

↓ (*Eventualmente*)

**Agotamiento del
ATP y PC**

↓ **Capacidad Muscular
para Generar Fuerza**

↓ **FATIGA**

↓ **Ejecutoria Deportiva**

Fatiga y sus Causas: Sistemas Energéticos

FATIGA → Causas → Sistemas Energéticos → ↓PC

↓
Agotamiento de la PC

↓
Determinante

↓
***Intensidad Inicial
del Evento Deportivo***

↓
(Ejemplo)

↑
Intensidad
(Inicio muy Rápido)

↑↑
Agotamiento de

↓
PC

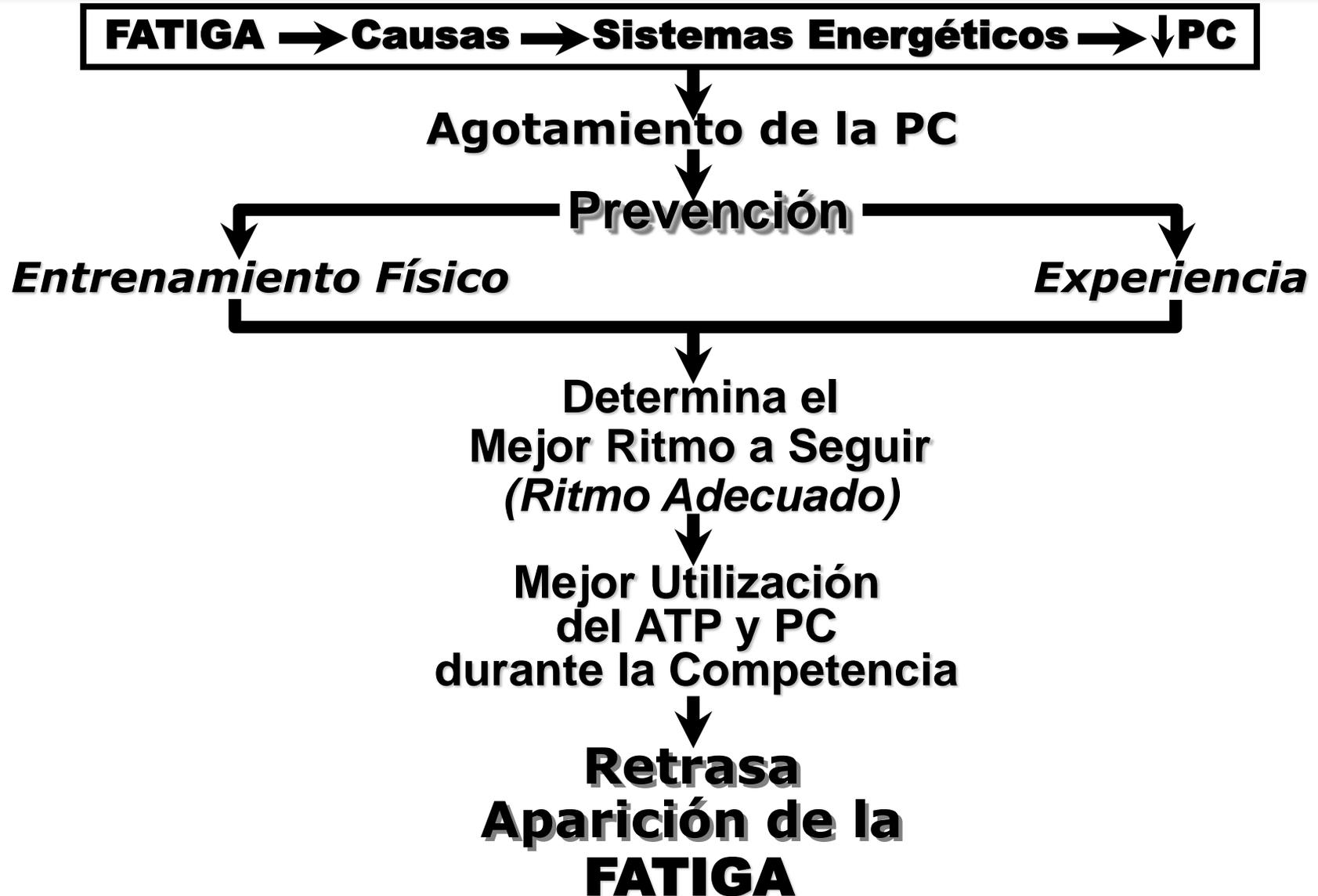
↓
ATP

↓
**FATIGA
Prematura**

↓
***Capacidad para Mantener
Ritmo Final de la Competencia***

↓
Rendimiento Deportivo

Fatiga y sus Causas: Sistemas Energéticos



FATIGA → Causas → Sistemas Energéticos → ↓ Glucógeno Muscular

Corredores Pedestres de Larga Distancia (CPLD)
(Ej: Maratonistas: 42 Km)

↓ (↑ *Intensidad*)
↑ % $\dot{V}O_2$ durante el Evento
(> 80% $\dot{V}O_{2\text{máx}}$)

Primeros Pocos Minutos de la Competencia

↑↑ Utilización del Glucógeno Muscular
(↑↑ Ritmo de Metabolización del Glucógeno Muscular)

↓ Desproporcionada del Glucógeno Muscular

Postrimerías del Evento
(Ej: Km 29 y 35)

Agotamiento del
Glucógeno Muscular
(Golpear/Chocar contra la Pared: "Hit the Wall")

↓ ATP

↓ Energía

↓ Capacidad Muscular
para Generar Fuerza

FATIGA

↓ Rendimiento Deportivo

Fatiga y sus Causas: Sistemas Energéticos

FATIGA → Causas → Sistemas Energéticos → ↓ Glucógeno Muscular

**Ritmo de Metabolización y Agotamiento
del
Glucógeno Muscular**

Determinante

**Intensidad
del
Ejercicio**

Relación

Directamente Proporcional

↑ Intensidad

↓ Intensidad

**↑ Utilización del Glucógeno
(eventualmente)
Agotamiento del Glucógeno**

↓ Utilización del Glucógeno

FATIGA

**Menos Probable
el
Agotamiento del
Glucógeno**

↓ Rendimiento Deportivo

Fatiga y sus Causas: Sistemas Energéticos

FATIGA → Causas → Sistemas Energéticos → ↓ Glucógeno Muscular

Glucógeno Muscular

**Factor Limitante
para Eventos de
Tolerancia Cardiorrespiratoria**

EJEMPLOS

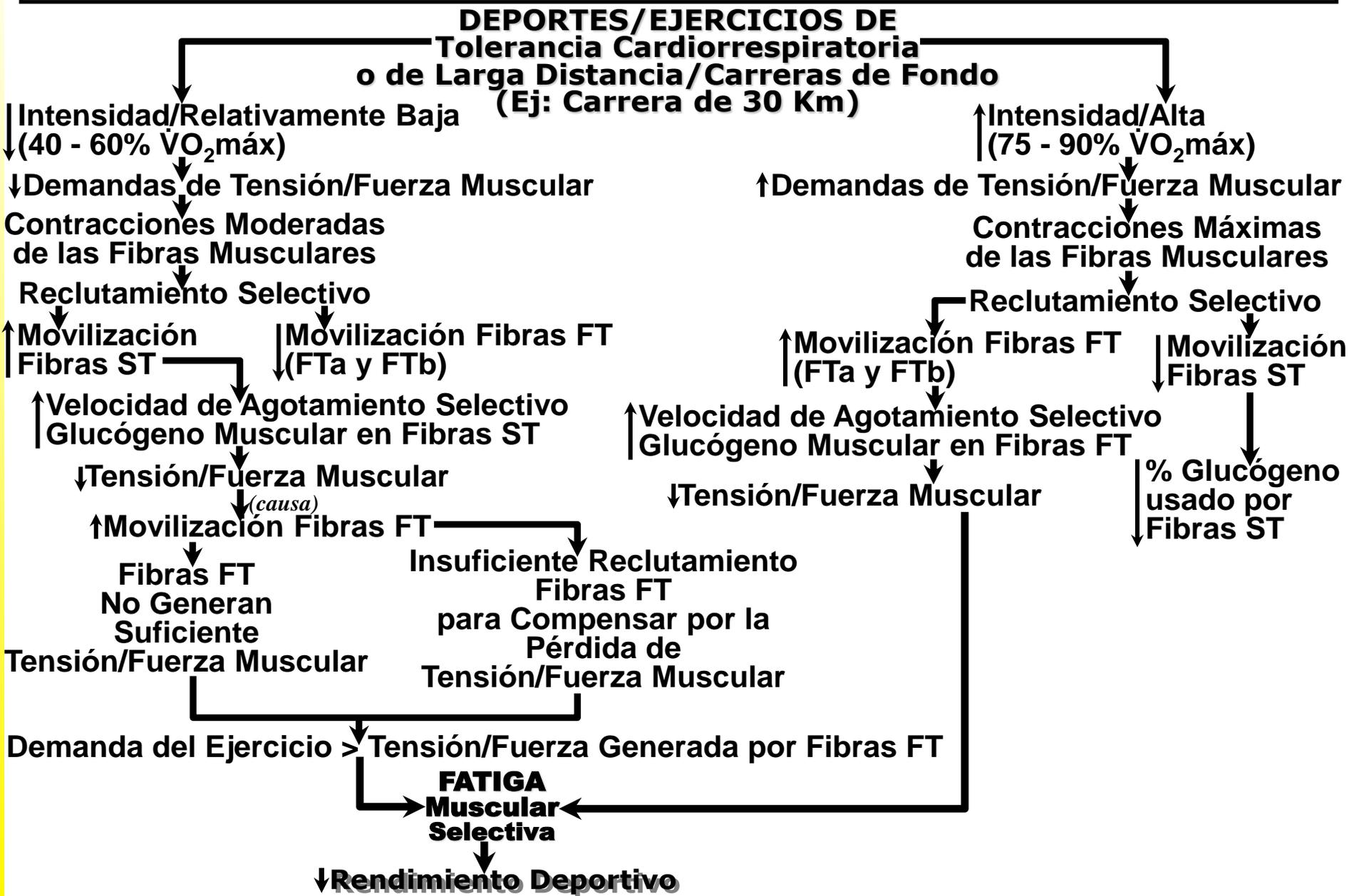
**Corredores Pedestres
de Larga Distancia
(Ej: Maratonistas)**

Triatletas

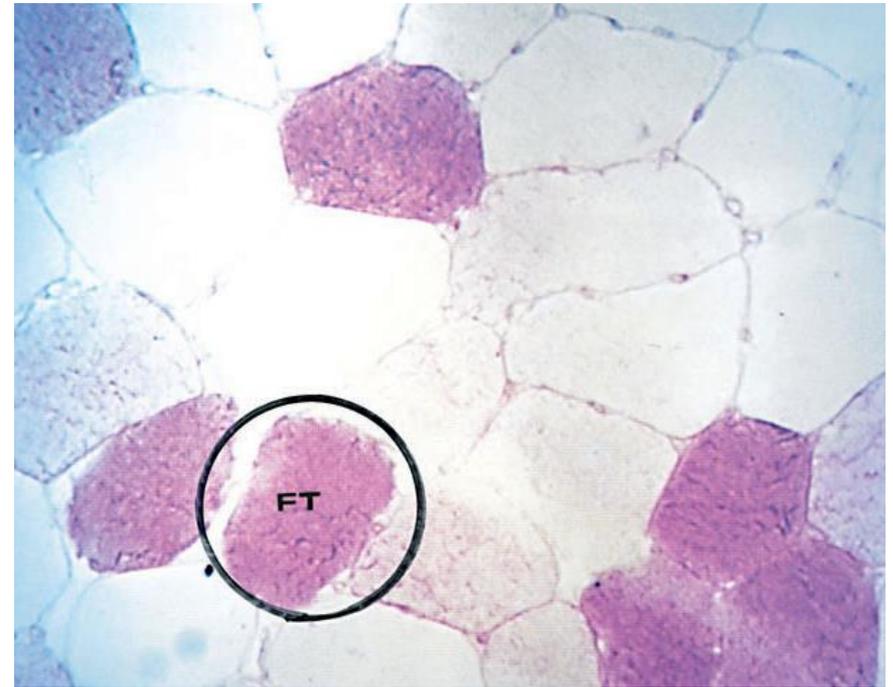
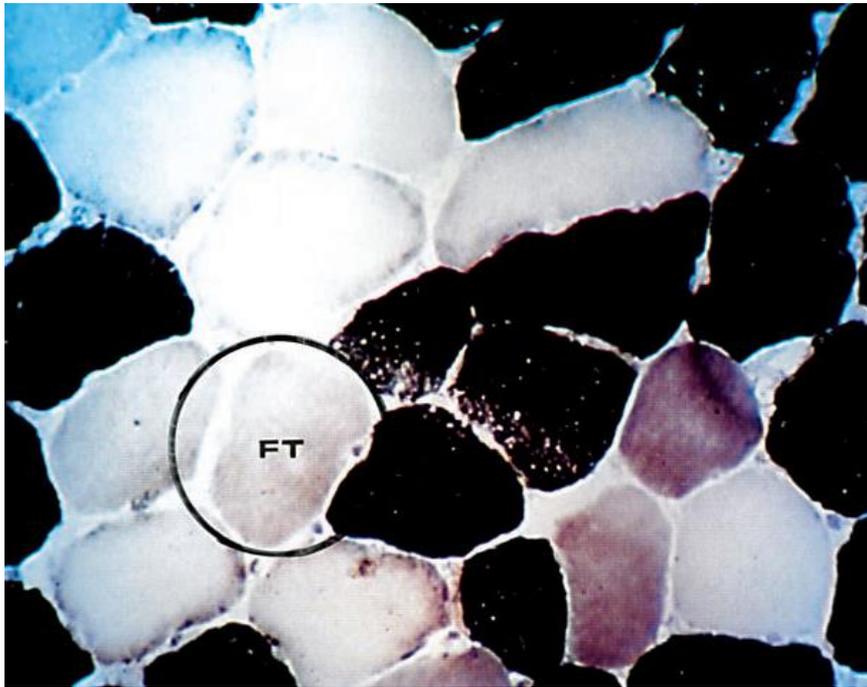
**Jugadores
de
Soccer**

**Nadadores de
Larga Distancia
(Ej: de Canal)**

FATIGA → Causas → Sistemas Energéticos → ↓ Glucógeno Muscular ^(en) → Diferentes Tipos de Fibras Musculares



FIBRAS MUSCULARES TEÑIDAS PARA MOSTRAR EL GLUCÓGENO



FATIGA → Causas → Sistemas Energéticos → ↓ Glucógeno Muscular ^(en) → Distintos Grupos Musculares

DEPORTES/EJERCICIOS DE Tolerancia Cardiorrespiratoria o de Larga Distancia/Fondo (Ej: CPLD > 2 horas)

↓ *(ejemplo)*

Correr

Cuesta Arriba

Cuesta Abajo

Terreno Llano

Activación Principal de los Músculos Esqueléticos de las Piernas

↓ *(ejemplo)*

Extensores del Tobillo

Extensores de la Rodilla

Gastronemio

Sóleo

Vasto Externo

↑ **Intensidad/Alta**
| (> 70% $\dot{V}O_2$ máx)

↑ **Utilización del Glucógeno Muscular**

↓ *(Cuesta Arriba, Cuesta Abajo, Terreno Llano)*

↑ **Velocidad Agotamiento Glucógeno Muscular**

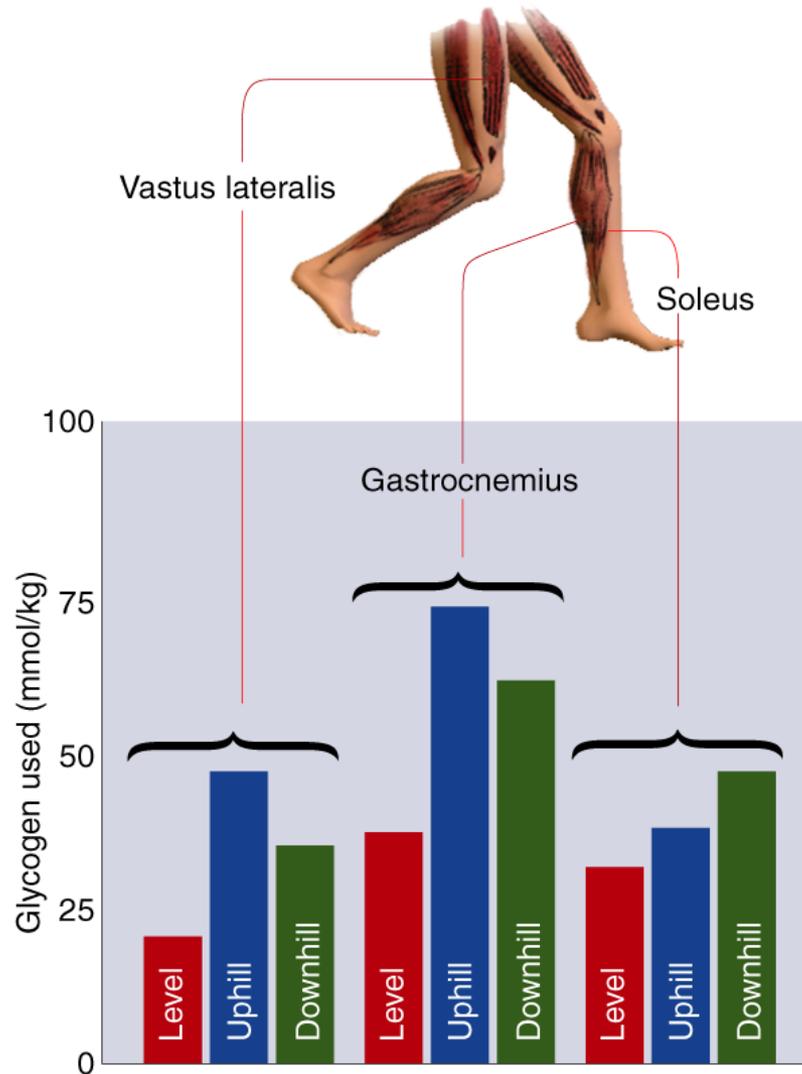
en los

GASTRONEMIOS

FATIGA Selectiva

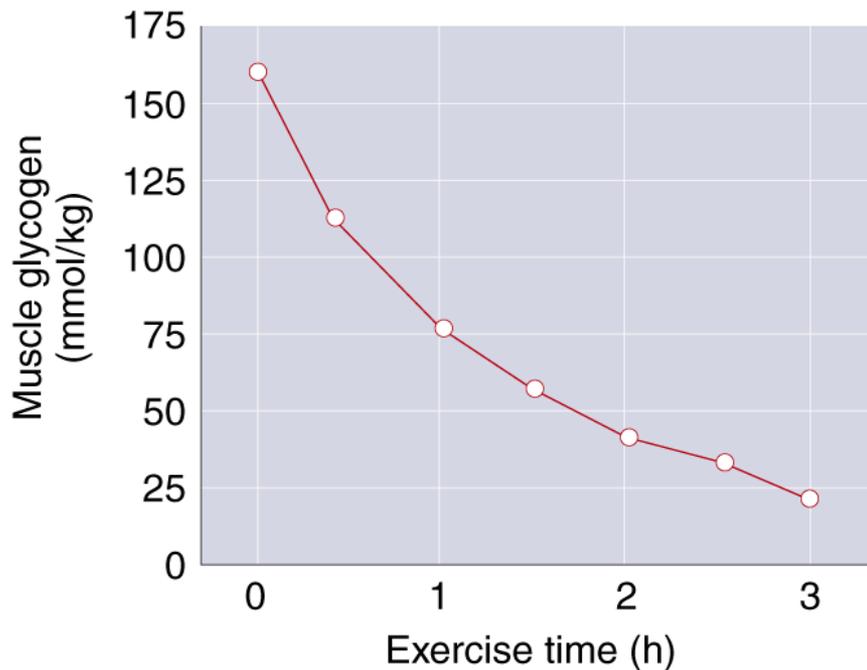
↓ **Rendimiento Deportivo**

USO DEL GLUCÓGENO DURANTE EL CORRER

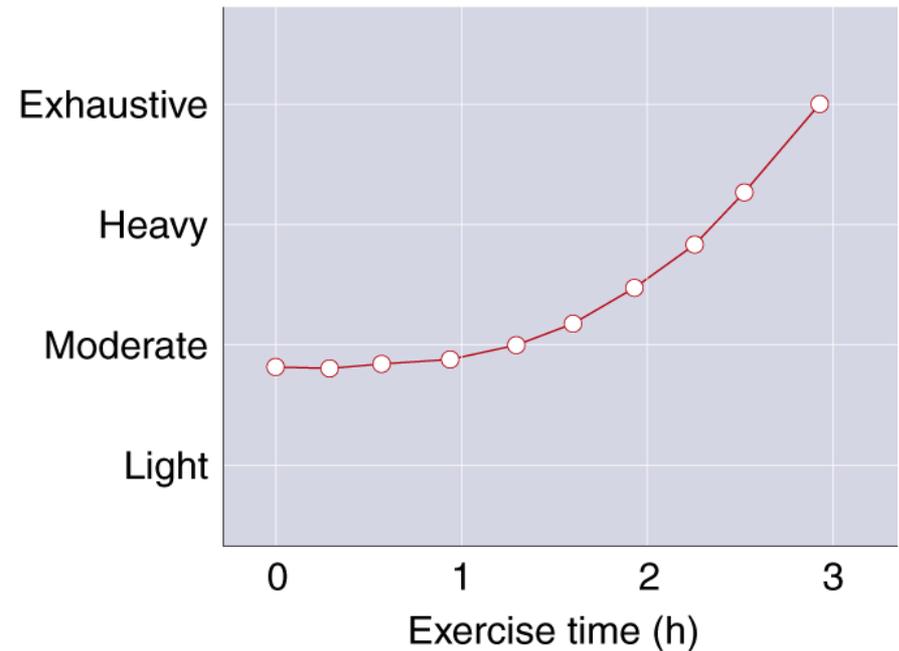


USO DEL GLUCÓGENO MUSCULAR DURANTE EL EJERCICIO

Gastrocnemius muscle



Perceived exertion



FATIGA → Causas → Sistemas Energéticos → ↓ Glucógeno Muscular/Glucosa

DEPORTES/EJERCICIOS DE Tolerancia Cardiorrespiratoria o de Larga Distancia/Fondo (Ej: CPLD)

Alta Intensidad

Primeras Fases del Evento

↓ Utilización Glucosa por Músculos para Aporte de Energía

Fases Posteriores del Evento

↑ Demandas de Glucógeno/Glucosa por Músculos Esqueléticos Activos

Reservas Glucosa Sanguínea

↑ Glucogénesis (Síntesis Glucosa)

↑ Gluconeogénesis (Síntesis de Glucosa a partir de Sustratos)

↑ Glucogénólisis (Degradamiento Glucógeno Hepático)

↑ Glucosa Sanguínea

↑ Utilización Glucosa por Músculos para Aporte de Energía

(Continúa el Ejercicio a una Alta Intensidad)

Demanda del Evento > Disponibilidad Glucógeno/Glucosa

Consumo Glucosa Muscular > Glucogénesis/Gluconeogénesis

↓ Glucosa Sanguínea

Hipoglucemia

Dependencia del Glucógeno Muscular

↑ Velocidad del Agotamiento del Glucógeno Muscular

FATIGA

↓ Rendimiento Deportivo

Fatiga y sus Causas: Sistemas Energéticos

FATIGA → Causas → Sistemas Energéticos → ↓ Glucógeno Muscular / Glucosa

**Deportes de Tolerancia / Aeróbicos
(≥ 30 min)**

**Determinantes / Factores
que**

Limitan el

Rendimiento Deportivo

**Agotamiento
del
Glucógeno**

**↓ Glucosa Sanguínea
(Hipoglucemia)**

Causa

FATIGA

↓ Rendimiento Deportivo

Fatiga y sus Causas: Sistemas Energéticos

FATIGA → Causas → Sistemas Energéticos → ↓ Glucógeno Muscular

**Deportes de Tolerancia/Aeróbicos
(≥ 30 min)**

Fases Iniciales

**Si se Posee un
Aporte Elevado de
Glucógeno Muscular**

↑ RENDIMIENTO DEPORTIVO

Fatiga y sus Causas: Desechos Metabólicos



FATIGA → Causas → Desechos Metabólicos → ↑Lactato/H⁺ → ↓pH

EVENTOS DE VELOCIDAD EN Carreras Pedestres, Ciclismo y Natación de Corta Duración y Elevada Intensidad
(Ejercicios Máximos de Corta Duración/Esfuerzos Musculares Breves Intensos)

Glucólisis Anaeróbica

(Producto de Desecho)

↑Acumulación del Ácido Láctico Intramuscular
(Dentro de las Fibras Musculares)

Disociación del Ácido Láctico

(Se convierte en)

Lactato

↑Acumulación de Iones de Hidrógeno (H⁺)

Acidificación Muscular ↔ Acidosis Metabólica

↑Tampones/Amortiguadores ("Buffers")

(Ejemplo)

Bicarbonato (HCO₃)

↓Influencia de los H⁺

↓pH Intramuscular/Intracelular

(Desde 7.1 en Reposo hasta 6.9, 6.6 y 6.4) → ↓H⁺ Durante Ejercicio Intenso

(↓pH hasta)

pH = 1.5

Destruye Células

Se Potencia la Influencia de los H⁺

↓Glucogenólisis
↓Producción de ATP
Agotamiento del ATP

pH = 6.4

↓Liberación de Ca⁺⁺ Intramuscular

No se Forman los Puentes Cruzados
(Actina-Miosina)

↓Fuerza Contractil de los Músculos

pH = 6.9

↓Fosfofructocinasa (PFK)
(Enzima Glucolítica)

↓Ritmo de Glucólisis
↓Producción de ATP

FATIGA y Agotamiento Físico

↓Rendimiento Deportivo

Desechos Metabólicos y Fatiga

- ◆ Las actividades de corta duración dependen de la glucólisis anaeróbica, la cual produce lactato e H^+ .
- ◆ Las células amortiguan los H^+ con bicarbonato (HCO_3^-) para poder mantener el pH celular entre 6.4 y 7.1.
- ◆ Sin embargo, un pH intracelular menor que 6.9 disminuye el ritmo de la glucólisis y la producción de ATP.
- ◆ Cuando el pH alcance un nivel de 6.4, los niveles de H^+ detienen la glucólisis, lo cual resulta en agotamiento.



Fatiga y sus Causas: Desechos Metabólicos

FATIGA → Causas → Desechos Metabólicos → ↑Lactato & H⁺ → ↓pH

Eventos de Velocidad

**RECUPERACIÓN
(Luego del Ejercicio)**

**Restablecimiento del pH
(A Niveles Previos al Ejercicio)**

**REQUIERE
30 – 35 Minutos**

Fatiga y sus Causas: Desechos Metabólicos

FATIGA → Causas → Desechos Metabólicos → ↑Lactato & H⁺ → ↓pH

Eventos de Velocidad

**RECUPERACIÓN
(Luego del Ejercicio)**

Restauración a un pH Normal (7.1)

Lactato Sanguíneo/Intramuscular

**Aún Pueden Estar
ELEVADOS**

Fatiga y sus Causas: Desechos Metabólicos

FATIGA → Causas → Desechos Metabólicos → ↑Lactato & H⁺ → ↓pH

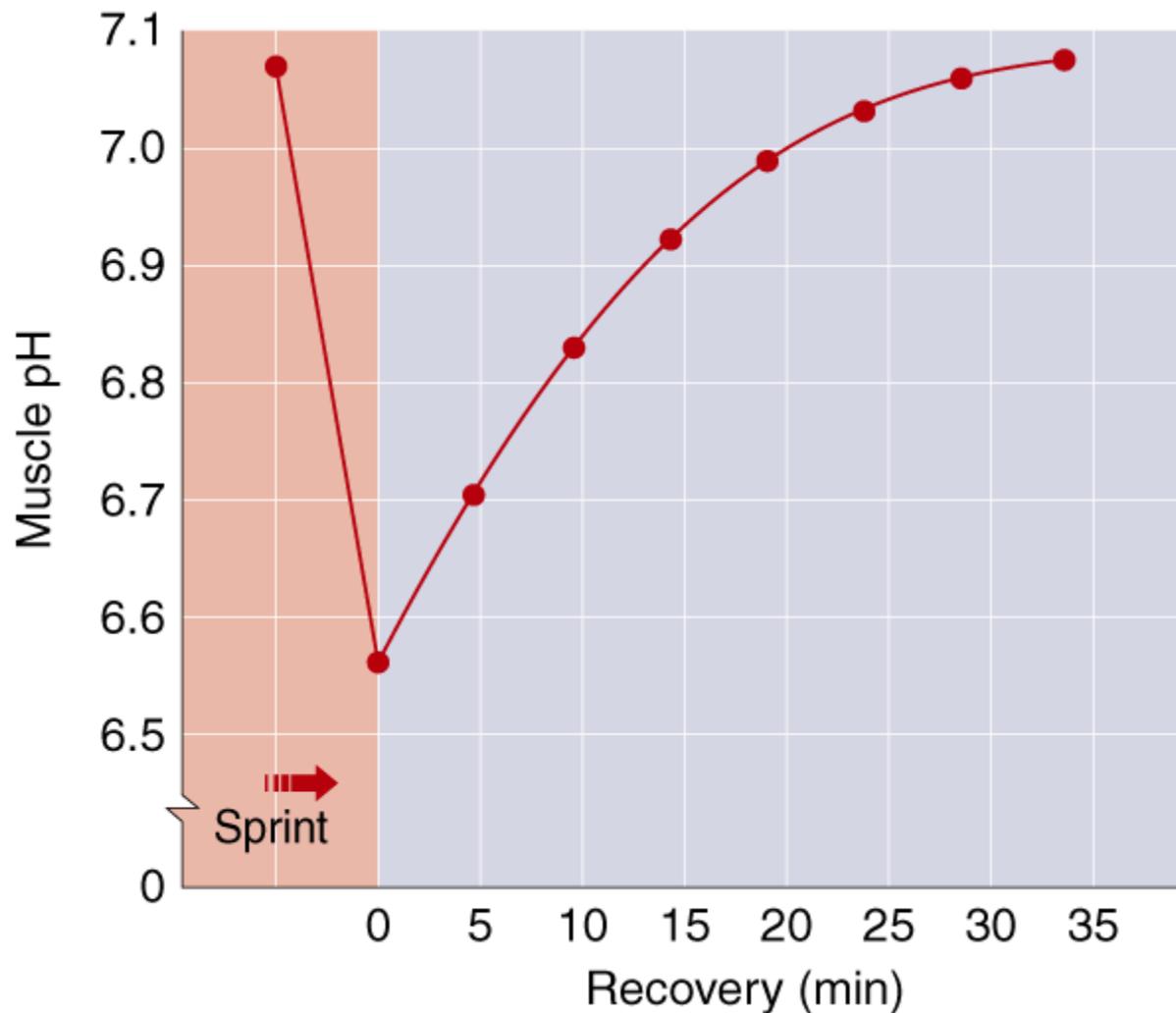
**DEPORTISTA VELOCISTA
(Compitiendo a Intensidades Elevadas)**

↑Lactato (> 6 – 7 mmol/L)

↓pH Intramuscular/Intracelular (< 7.0)

Puede Continuar Ejercitándose

CAMBIOS EN EL pH MUSCULAR



Fatiga y sus Causas: Desechos Metabólicos

FATIGA → Causas → Desechos Metabólicos → ↑Lactato & H⁺ → ↓pH

Entrenadores/Fisiólogos del Ejercicio

Mediciones del Lactato Sanguíneo

PROPÓSITO:

**Cuantificación de la Intensidad y Volumen
del Entrenamiento Físico**

Necesario Para

**Producir un
Estímulo de Entrenamiento Óptimo**

Fatiga y sus Causas: Desechos Metabólicos

FATIGA → Causas → Desechos Metabólicos → ↑Lactato & H⁺ → ↓pH

**Mediciones del
Lactato Sanguíneo**

Proporcionan un

**Índice de Intensidad
del
Entrenamiento Deportivo**

pero

No Tienen Relación con

Los Procesos Anaeróbicos

**El Estado de Acidosis
En los Músculos**

Entrenadores/Fisiólogos del Ejercicio

Mediciones del Lactato Sanguíneo

PROPOSITO:

**Cuantificación de la Intensidad y Volumen
del Entrenamiento Físico**

Necesario Para

**Producir un
Estímulo de Entrenamiento Óptimo**

**Estas Mediciones del
Lactato Sanguíneo**

Proporcionan un

**Índice de Intensidad
del
Entrenamiento Deportivo**

pero

No Tienen Relación con

Los Procesos Anaeróbicos

**El Estado de Acidosis
en los Músculos**

Fatiga y sus Causas: Desechos Metabólicos

FATIGA → Causas → Desechos Metabólicos → ↑Lactato & H⁺ → ↓pH

**Valores del
Lactato Sanguíneo**

Determinante

**Ritmo de
Producción, Difusión y Oxidación
del Lactato/H⁺**

Determinante de Esta Tasa

Diversos

Conclusión

**Los Valores del Lactato Sanguíneo
tienen un uso Cuestionable
para la
Programación del Entrenamiento Deportivo**

FATIGA → Causas → Desechos Metabólicos → ↑Lactato & H⁺ → ↓pH

↑Lactato

↑H⁺

En Músculos Esqueletales

Difusión de
Lactato y H⁺

↓ (*hacia*)

Fuera de la
Célula

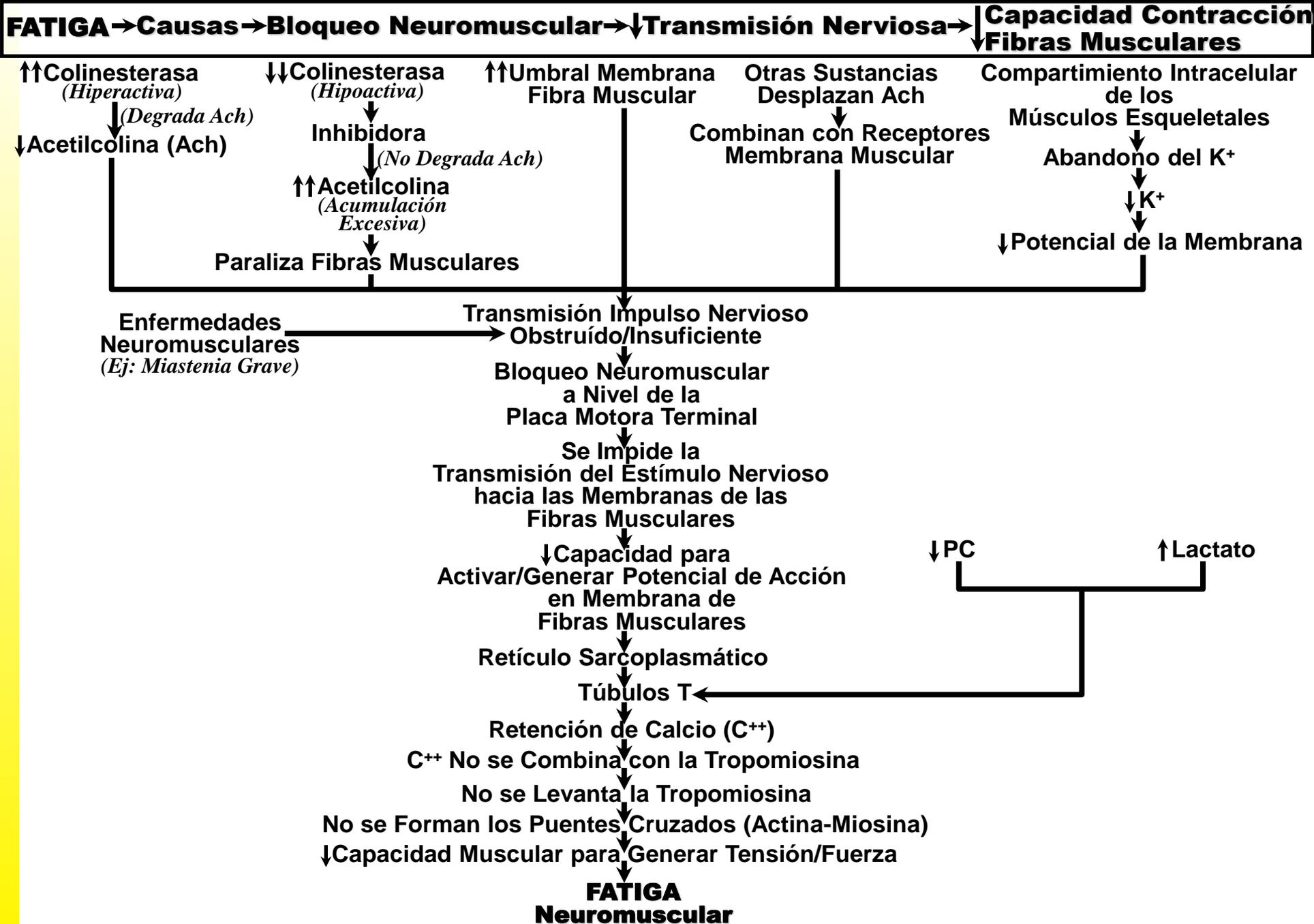
Lactato y H⁺
se Diluyen en los
Fluidos Corporales

en
Sangre

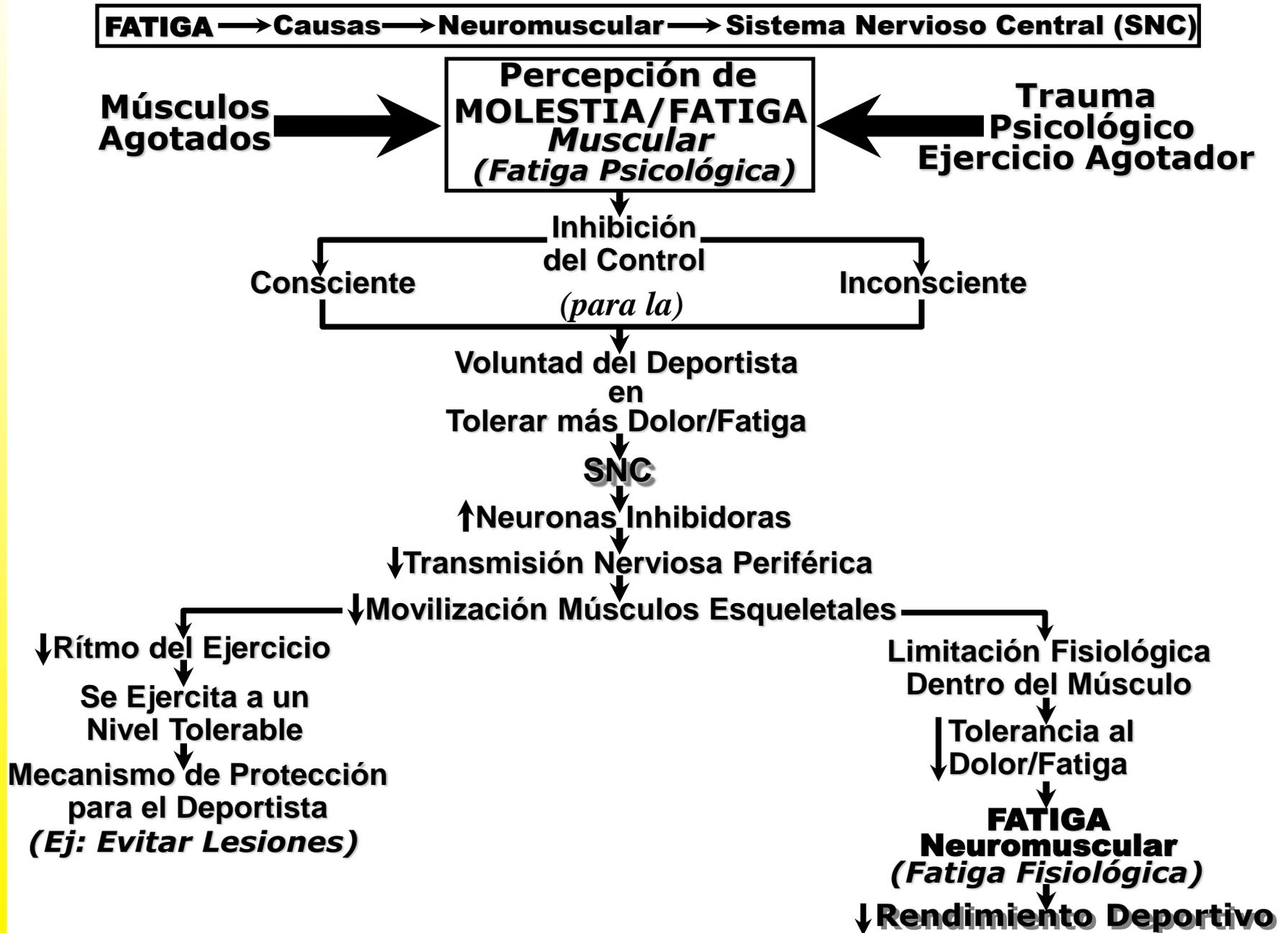
Transportados hacia
Otras Áreas del Cuerpo

↓ *para ser*

Metabolizados



Fatiga y sus Causas: Fatiga Neuromuscular



Fatiga y sus Causas: Fatiga Neuromuscular

FATIGA → Causas → Neuromuscular → Sistema Nervioso Central (SNC)

MÚSCULOS AGOTADOS
(Percepción)

Activación Psicológica

Ejemplo

Dar Ánimos/Motivación

Verbalmente

Gritando

Expresiones de Estímulo

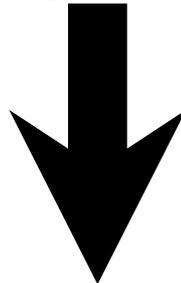
**Estimulación
Eléctrica
Directa**

↑ Fuerza de Contracción Muscular

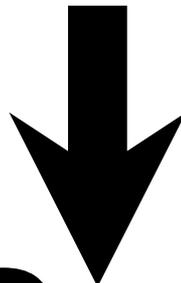
Fatiga y sus Causas: Fatiga Neuromuscular

FATIGA → Causas → Neuromuscular → Sistema Nervioso Central (SNC)

MOVILIZACIÓN MUSCULAR



**DETERMINANTE
Parcial**



Control Consciente

Fatiga y sus Causas: Fatiga Neuromuscular

FATIGA → Causas → Neuromuscular → Sistema Nervioso Central (SNC)

FATIGA PERCIBIDA
(Fatiga Psicológica)

Precede

FATIGA FISIOLÓGICA

Fatiga y sus Causas: Fatiga Neuromuscular

FATIGA → Causas → Neuromuscular → Sistema Nervioso Central (SNC)

ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

Aprendizaje Motor

(Permite)

Cómo Llevar un

**Ritmo Adecuado
de Ejercicio**

**Tolerar el
Dolor/Fatiga**

Fatiga y sus Causas

- ♦ La fatiga puede ser ocasionada por el agotamiento de la PCr o glucógeno, lo cual perjudica la producción de ATP.
- ♦ Los H^+ generados por el ácido láctico causa fatiga al disminuir el pH muscular y obstaculizar los procesos celulares para la producción de energía y la contracción muscular.
- ♦ El fallo en la transmisión nerviosa puede causar alguna fatiga.
- ♦ El sistema nervioso central puede también percibir fatiga como un mecanismo de protección.