

Respiración

es un proceso catabólico en el que se oxida una molécula combustible, la glucosa (sacarosa), cuya energía es atrapada en forma de ATP (fuente universal de energía).

<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg>

Taiz Lincoln y Eduardo Zeiger Tercera o cuarta
Edición

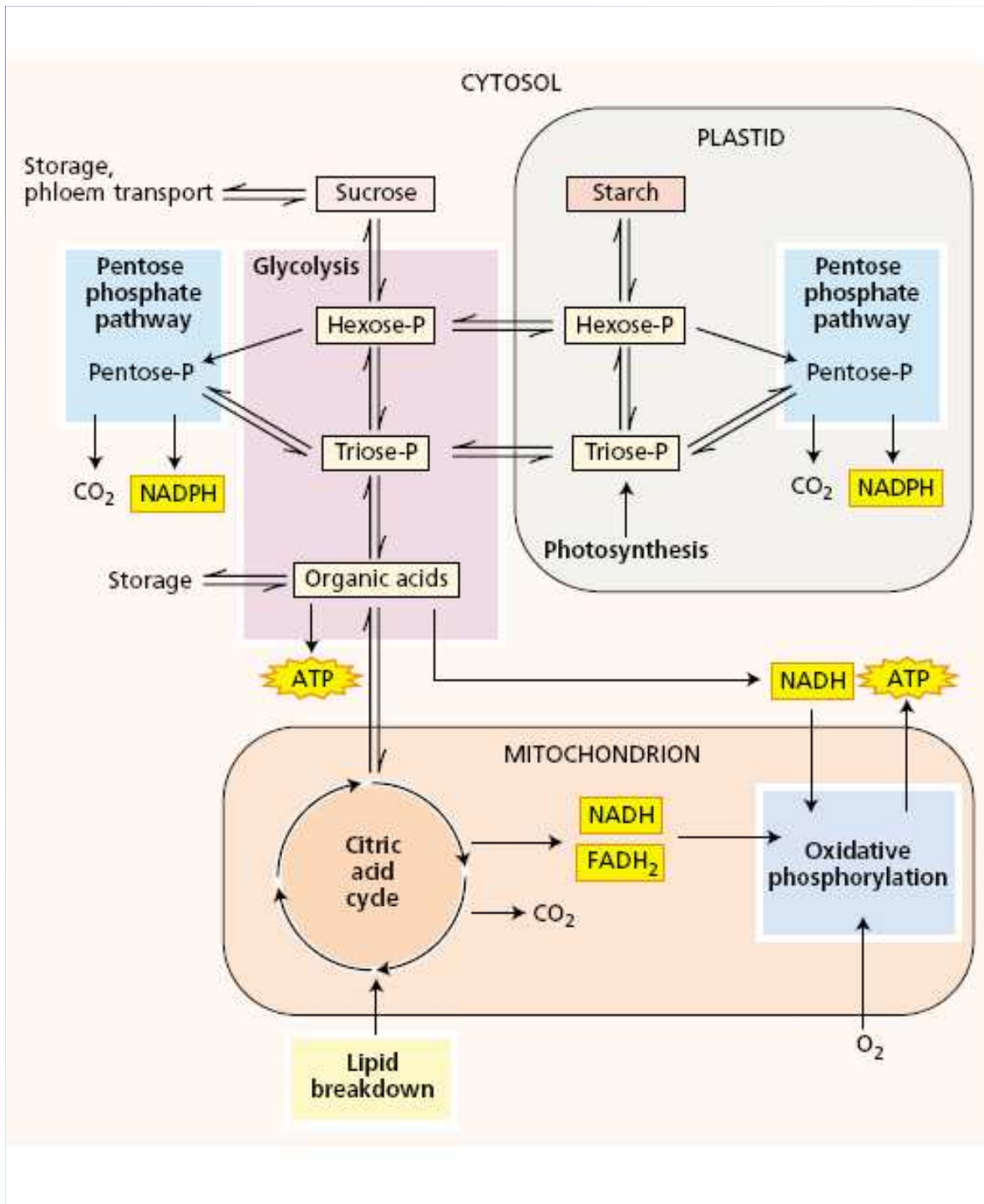
La reacción general de oxidación de la glucosa es:



Esto significa que 180 g (1 mol) de glucosa es oxidada por 192 g (6 moles) de oxígeno, con la formación de 264 g (6 moles) de CO_2 , 108 g (6 moles) de agua y la liberación de 686 $\text{Kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$ (2872 $\text{KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$), ésta es una reacción fuertemente exergónica, con una energía libre ($\mathbf{DG^\circ}$) negativa, y representa la respiración aeróbica. Esto significa que por cada mol de oxígeno absorbido (32g.), se producen 114 Kcal de energía. De la ecuación (1) se deduce que la respiración se puede medir por la cantidad de oxígeno absorbido o de anhídrido carbónico liberado.

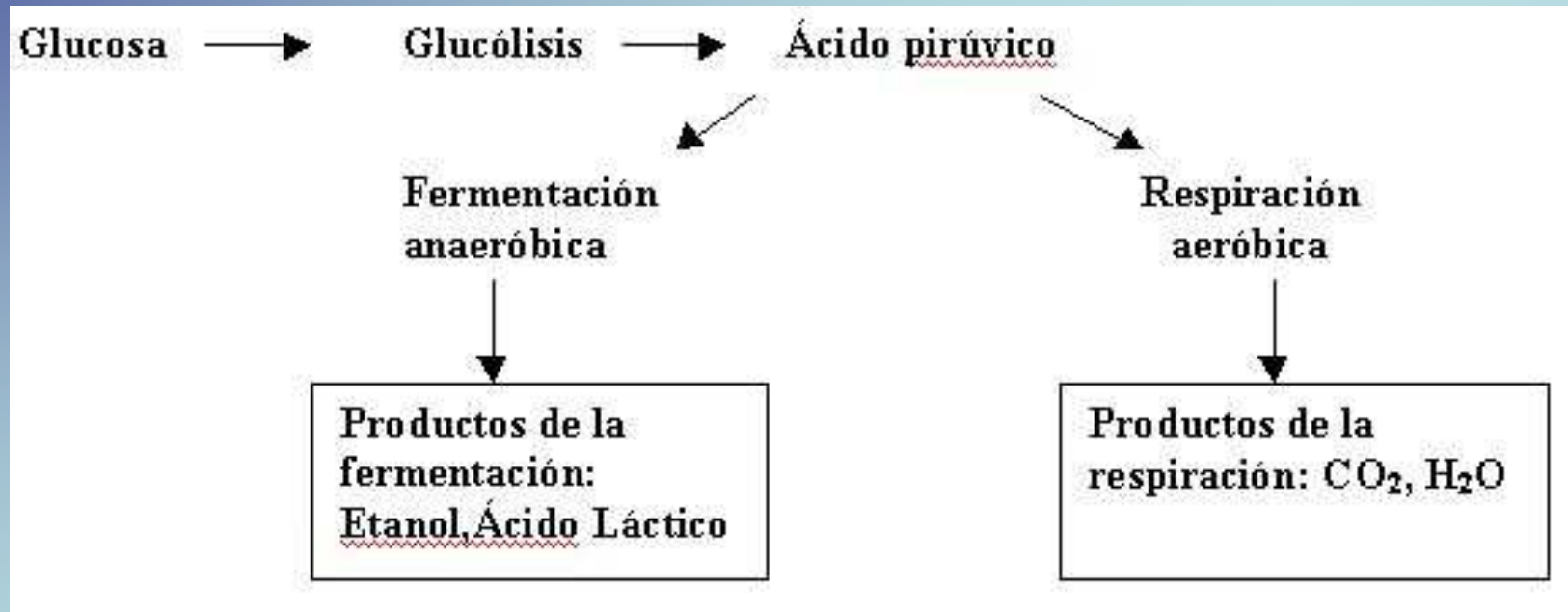
Procesos de la respiración

- **Glucólisis:** son una serie de reacciones realizadas por enzimas solubles localizadas en el citosol y en los plastidios. La azúcar (glucosa) se oxida parcialmente a hexosa fosfato y triosa para luego producirse un ácido orgánico (piruvato).
- **Via pentosa fosfato:** que se da en el citosol y los plastidios. En esta la hexosa fosfato se oxida a una ribulosa 5 fosfato. El carbono es perdido como CO₂ y el poder reductor se conserva en la forma de NAPH.
- **Ciclo de ácido cítrico:** El piruvato se oxida completamente a CO₂. Esto genera 16 HADH y 4FADH₂. A excepción de la succinato deshidrogenasa las reacciones son llevadas a cabo por enzimas en la matrix de la mitocondras
- **Fosforilación oxidativa:** los electrones son trasferidos a través de la cadena transportadora de electrones que son proteínas unidas a la parte interna de las dos membranas mitocondriales. El sistema transfiere los electrones del NAPH producido en los previos etapas (glucolisis, via pentosa fosfato y ciclo de ácido cítrico) hasta el oxígeno. Este movimiento de electrones libera una gran cantidad de energía conservada en ATP.



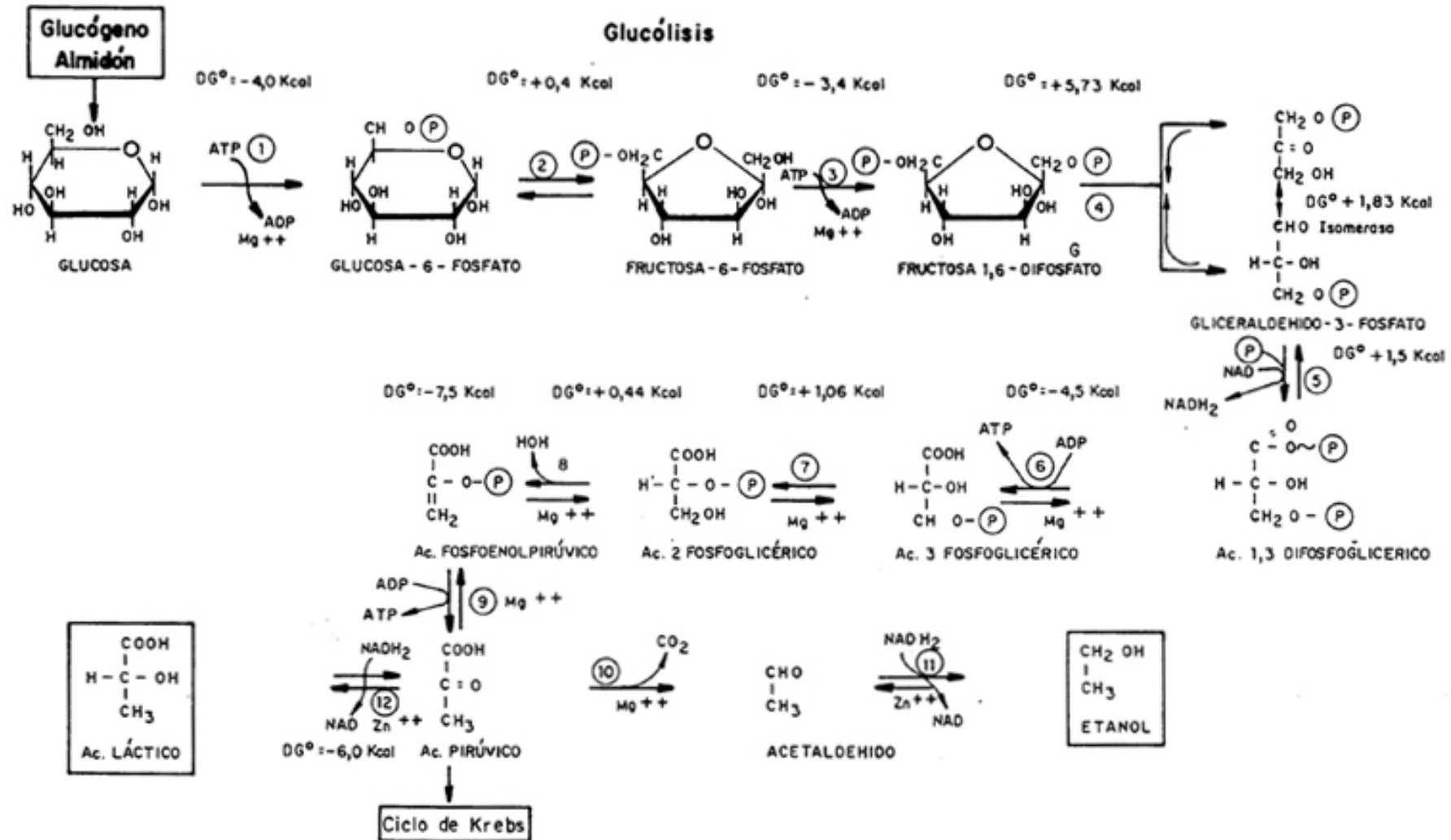
Proceso general de la respiración:
 Los sustratos para la respiración son generados por otros procesos celulares. La glucólisis y la ruta pentosa Fosfato que se dan en el citosol y los plastidios convierten el azúcar en ácidos orgánicos produciéndose NADH NADPH y ATP. Los ácidos orgánicos son oxidados en el ciclo de ácido cítrico en las mitocondrias y el NADH, HADPH producidos proveen la energía para la síntesis de ATP en la cadena de transporte de Electrones y ATP sintetasa en la fosforilación oxidativa

Paso 1 Glucólisis: del griego glykos (azúcar) y Lysis (separación)



Producción de ácido pirúvico y los dos posibles rutas de transformación

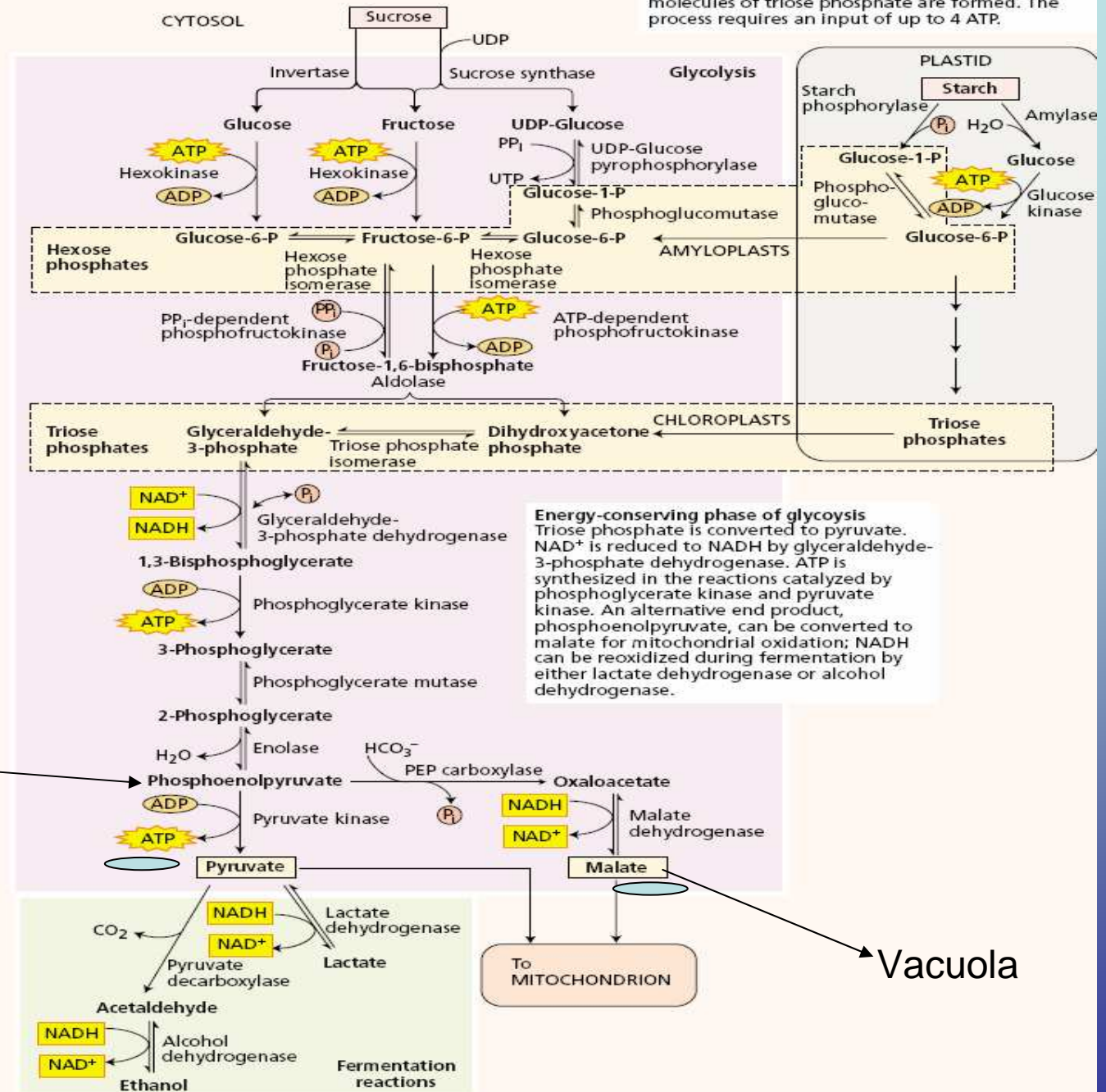
Observaciones: En plantas el sustrato para la glucólisis es sacarosa y el producto final incluye además del piruvato el malato



1. Glucocinasa ; 2. Fosfohexosa isomerasa ; 3. Fosfofructocinasa ; 4. Aldolasa ; 5. Gliceraldehido - 3 - Fosfato Deshidrogenasa
6. Fosfogliceroquinasa ; 7. Fosfoglicero mutasa ; 8. Enolasa ; 9. Kinasa Pirúvica ; 10. Descarboxilasa Pirúvica
11. Deshidrogenasa Alcohólica · 12. Deshidrogenasa Láctica

(A)

Initial phase of glycolysis Substrates from different sources are channeled into triose phosphate. For each molecule of sucrose that is metabolized, four molecules of triose phosphate are formed. The process requires an input of up to 4 ATP.



Limitaciones de NAD pueden producir procesos de Fermentación en ausencia de oxígeno

PEP Y DOS CAMINOS

Vacuola

BALANCE DE ATP EN LA GLUCOLISIS

En la reacción de fosforilación de la glucosa mediante la acción de la glucokinasa, con la formación de la glucosa 6 – P se consume una molécula de ATP; así mismo en la conversión de la fructosa - 6 – P a fructosa 1, 6 di – P, se consume otra molécula de ATP.

En la reacción No. 6 catalizada por la enzima fosfoglicerokinasa, en la que el ácido 1, 3 difosfoglicérico se convierte en Ác.3 – fosfoglicérico se producen dos moléculas de ATP, así mismo se forman otras dos moléculas de ATP en la reacción 9, en la que el ácido fosfoenolpirúvico se transforma en ácido pirúvico, catalizada por la enzima kinasa pirúvica.

El balance neto es: 4ATP producidos menos 2ATP consumidos = 2ATP, si la energía de hidrólisis del ATP varía entre 7 – 8 Kcal * mol⁻¹ (29,3 – 33,5 KJ * mol⁻¹), entonces el balance energético de la glucólisis es de 16 Kcal * mol⁻¹ (71 KJ * mol⁻¹).

La eficiencia de la glucólisis se puede calcular entonces de la siguiente forma: $(16/686) * 100 = 2.3\%$. (Eficiencia se entiende como la energía almacenada en el ATP con respecto a la de la sacarosa)

La energía almacenada en la glucosa es de 686 Kcal * mol⁻¹, en la glucólisis, se conserva solamente 2,3% de esta energía en forma de ATP.

Gluconeogenesis

- Es el camino opuesto de la glucólisis para sintetizar azúcar. Se da en algunas semilla con contenidos de lípidos. ejemplo girasol

En ausencia de oxígeno el ciclo de ácido cítrico y la fosforilación oxidativa no funcionan. La glucólisis deja de funcionar porque la cantidad de NAD es limitada y una vez que todo el NAD se transforma en NADH la enzima gliceraldehído 3 fosfato no funciona. Para solventar esto las plantas metabolizan el piruvato a través del metabolismo fermentativo.

En la fermentación alcohólica dos enzimas actúan sobre el piruvato para producir alcohol, CO_2 y se oxida NADH.

En la fermentación ácido láctica la enzima lactato deshidrogenada usa NADH para reducir el piruvato y producir lactato.

Momentos de baja concentración de oxígeno se dan cuando las plantas están en suelos inundados.

Ruta de pentosa fosfato oxidativa

- Se da en los plastidios y en el citosol, pero predomina en los plastidios
- Se convierte la glucosa en un azúcar de cinco carbonos (ribulosa 5 fosfato) con la pérdida de una molécula de CO_2 y la generación de dos moléculas de NADPH.
- Los pasos siguientes convierten la ribulosa 5 fosfato a gliceraldehido 3 fosfato y fructuosa 6 fosfato.
- Estudios han indicado que la glucólisis es mas dominante con 80 a 90 % del total del flujo de carbono

control

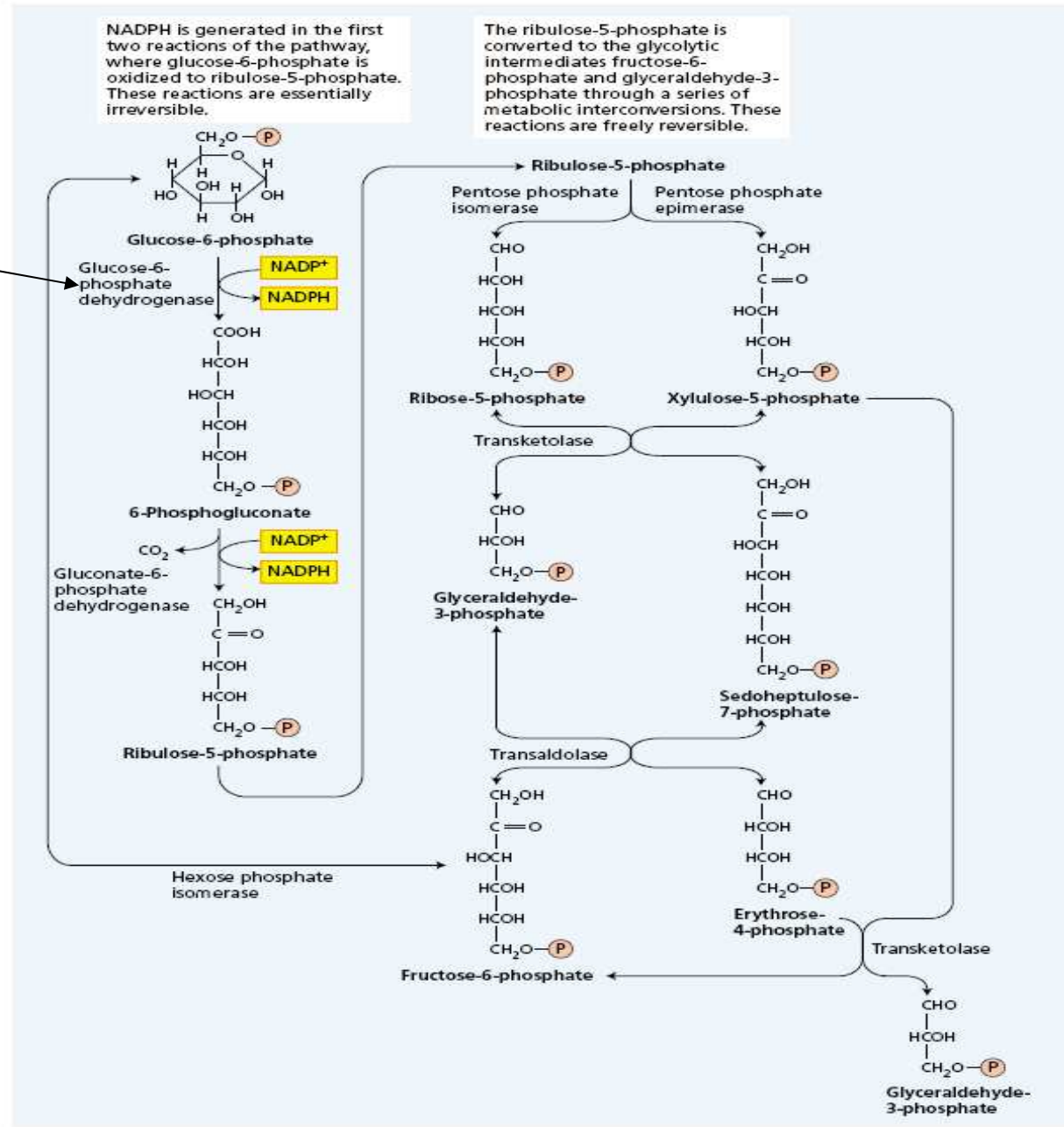


FIGURE 11.4 Reactions of the oxidative pentose phosphate pathway in higher plants. P, phosphate.

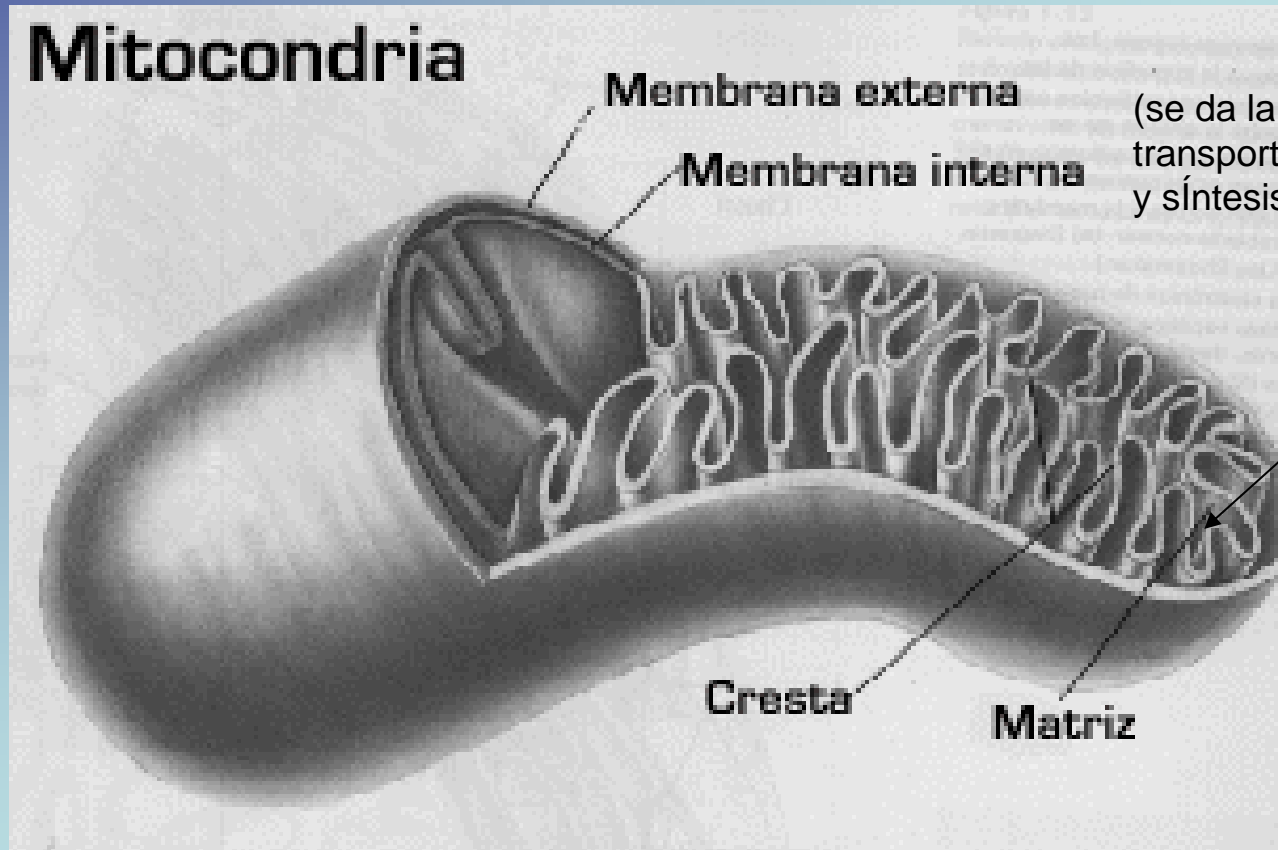
PAPELES QUE JUEGA LA RUTA DE LA PENTOSA FOSFATO OXIDATIVA

- Producción de NADH para varios procesos de biosíntesis de reducción en el citosol
- NADPH usado para la respiración
- Produce ribosa 5 fosfato un precursor de de la ribosa y deoxirribosa necesarios para la producción de ARN y ADN
- Producción de intermediarios en el ciclo de Calvin.

Segundo estado: Ciclo de los ácidos tricarboxílicos

Este ciclo, también conocido como Ciclo de Krebs o Ciclo del ácido cítrico se reportó en 1937 (Hanz Krebs recibió el premio nobel en medicina o fisiología en 1953) y tiene esencialmente la función de completar el metabolismo del piruvato derivado de la glicólisis. Las enzimas del ciclo de los ácidos tricarboxílicos (Krebs) están localizadas en la matriz de la mitocondria (unas pocas de estas enzimas están en la membrana interna de la mitocondria). Su punto de partida es el Acetil-CoA, obteniéndose CO_2 y transportadores de electrones reducidos.

Mitocondria



Membrana externa

Membrana interna

Cresta

Matriz

(se da la cadena transportadora de electrones y síntesis de ATP)

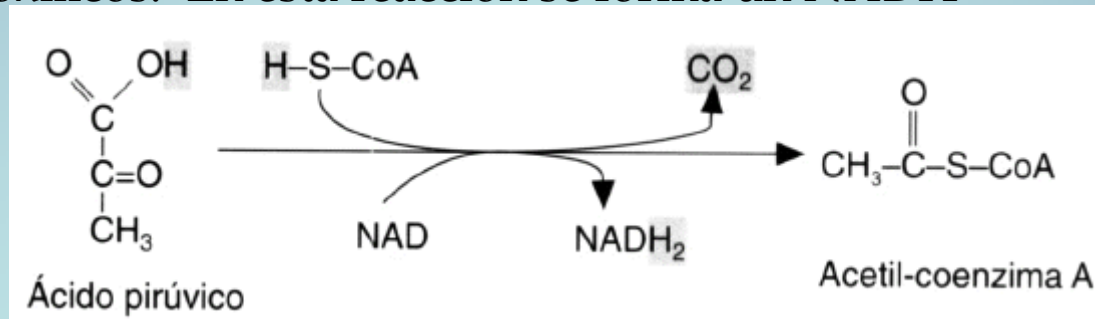
Aquí se produce El ciclo de ácido cítrico,. El piruvato Entra a través de la membrana interna

Oxidación del piruvato: Es el lazo entre la glucólisis y la respiración celular. Es un complejo de reacciones catalizado por un sistema de enzimas localizado en la membrana mitocondrial interna.

Resumen de los eventos:

El piruvato difunde hasta la matriz de la mitocondria, cruzando ambas membranas.

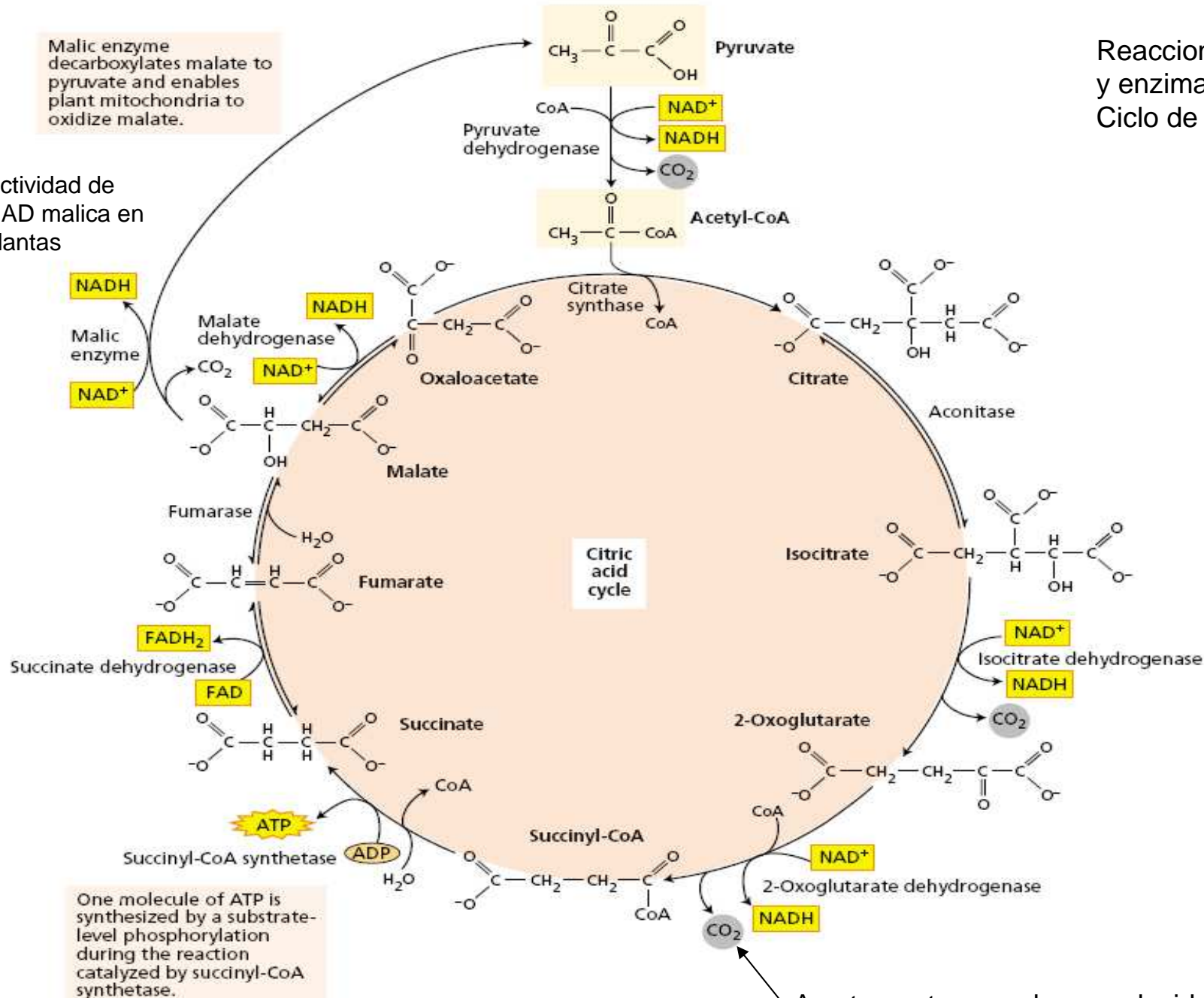
Cada ác. pirúvico reacciona con la coenzima-A, desdoblándose en CO_2 y un grupo acetilo de dos carbonos que se une inmediatamente a la coenzima-A formando **acetil coenzima-A** (acetilCoA) que entrará al ciclo de los ácidos tricarboxílicos. En esta reacción se forma un NADH



Nota: La Acetil-CoA puede también producirse a partir de lípidos (por beta oxidación) o del metabolismo de ciertos aminoácidos. Su formación es un nodo importante del metabolismo central.

Reacciones y enzimas de Ciclo de del ácido cítrico

Actividad de NAD malica en plantas



Malic enzyme decarboxylates malate to pyruvate and enables plant mitochondria to oxidize malate.

NADH
Malic enzyme
 NAD^+

One molecule of ATP is synthesized by a substrate-level phosphorylation during the reaction catalyzed by succinyl-CoA synthetase.

A este punto ya se han producido 12 CO_2 por cada molécula de sacarosa

Transporte electrones y síntesis de ATP.

Las enzimas que catalizan las reacciones del ciclo de Krebs se hallan en la matriz mitocondrial ; mientras que el sistema transportador de electrones se encuentra inmerso en las crestas mitocondriales. Mediante una serie de reacciones de oxido-reducción, los electrones se transfieren en cascada, ya sea desde el NADH o del FADH₂ al oxígeno molecular para que se forme H₂O. Parte de la energía del electrón es usada para fabricar ATP y el resto se libera como calor. En la reacción de oxidación del NADH se produce una separación de cargas, los protones (H⁺) permanecen en la solución acuosa, mientras que los electrones se transfieren a través de transportadores de electrones, que incluyen la ubiquinona y un sistema de citocromos.

La cadena de transporte de electrones en las plantas es el mismo de otras Mitocondrias en otros organismos. Estos están organizados en cuatro complejos multiproteínicos. Ellos están en la membrana interna de la mitocondria y son identificados por los números romanos I, II , III , IV:

Complejo I NADH deshidrogenasa.

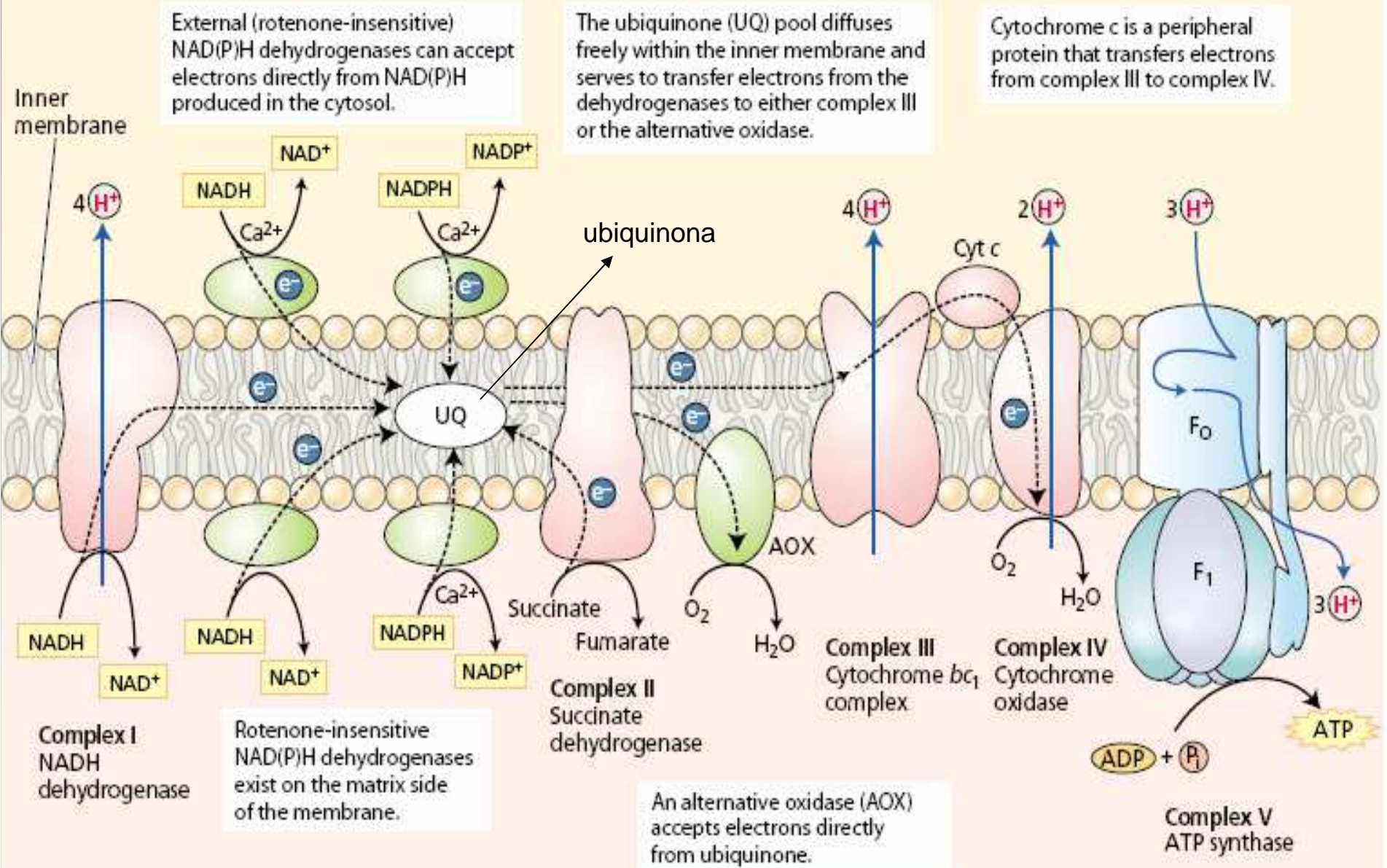
Complejo II Succinato deshidrogenasa

Complejo III Citocromo BC1

Complejo IV Citocromo C oxidasa.

Organización de la cadena de transporte de electrones y síntesis de ATP en la membrana interna de la Mitochondria de plantas

INTERMEMBRANE SPACE



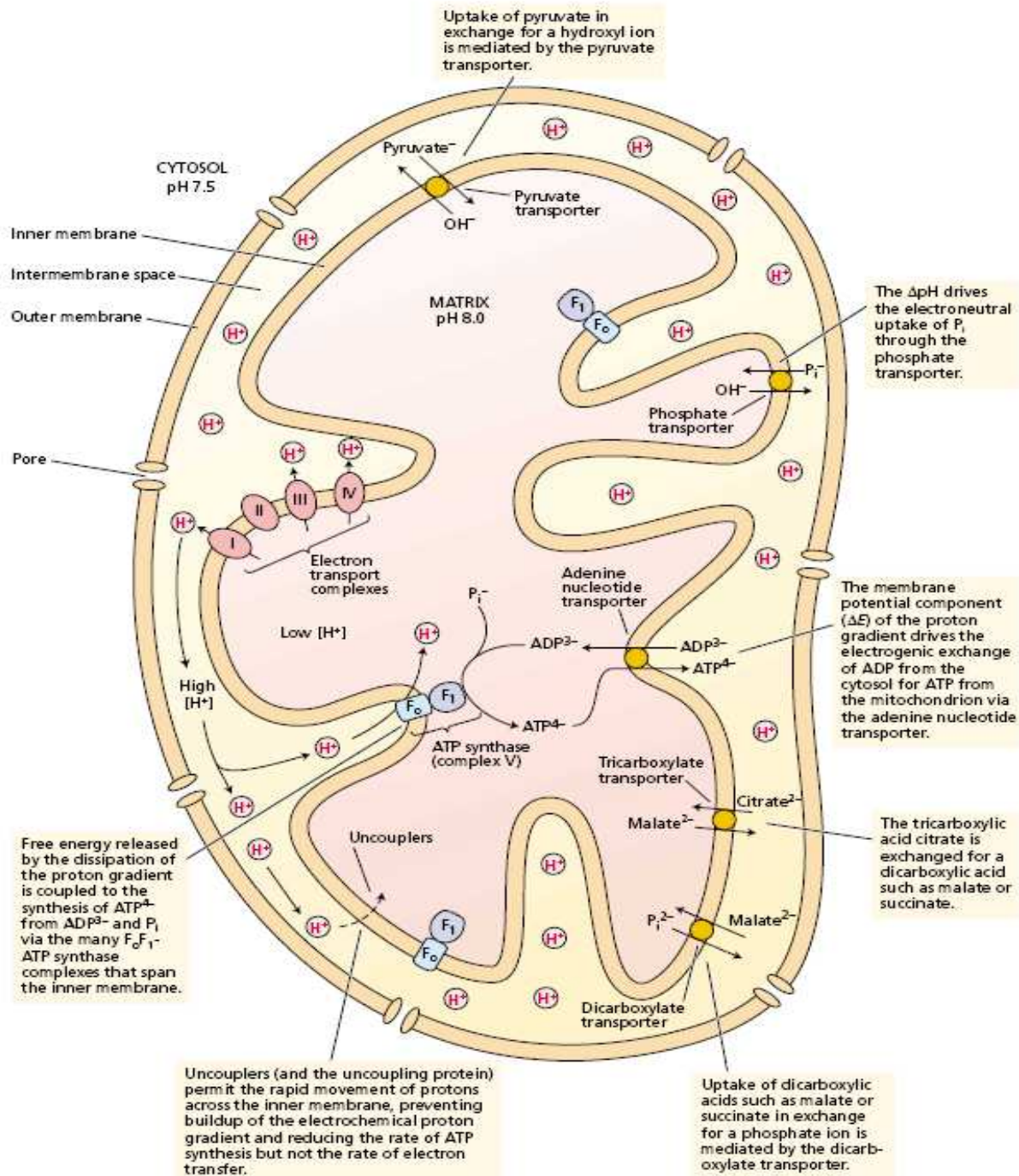
MATRIX

Fosforilación oxidativa

La transferencia de electrones a través de los cuatro complejos esta acoplada a la síntesis de ATP (complejo V) o llamada Fo F1 ATP sintasa. Este complejo esta conformado por: 1) un complejo de proteína Fi que contiene el sitio catalítico para convertir ADP en ATP. Este complejo esta unido en la matrix de la membrana interna. 2) Un complejo de proteínas integrales que son sensibles a la oligomicina de ahí su nombre Fo. Tienen tres polipeptidos que forman un canal a través del cual cruzan los protones. El paso de protones esta acoplado a la síntesis de ATP y se conoce que por cada ATP sintetizado tres protones pasa a través de Fo

Transporte transmembrana en la mitocondria de plantas

Como se mueve el ATP desde la matrix?



Producción de la respiración aeróbica

- 8 moléculas de ATP por sustrato (4 glucólisis y 4 de ciclo de ácido cítrico)
- 4 moléculas de NADH en el citosol
- 16 moléculas de NADH más cuatro de FADH₂ en la matriz mitocondrial.
- Esto resulta en 60 ATP sintetizados. Usando 50 kJ mol⁻¹ como la energía de formación de ATP, se estima que 3000 kJ mol⁻¹ de energía conservada en la forma de ATP por mol de sacarosa oxidada. Esto representa el 52%

Flexibilidad metabólica es mas importante que la eficiencia energética?

Oxidasa alternativa

Respiración de diferentes organos

Los sitios meristemáticos tienen altas tasas de respiración.

Cuando las plantas han llegado a su madurez puede permanecer constante o disminuye en la medida que el tejido senece.

Existe un aumento marcado de la respiración (climaterio) en la maduración de Frutos (aguacate, banana, manzana). Este proceso están asociados por la Producción endógena de etileno

Factores que alteran la respiración

- Oxígeno: es importante la difusión gaseosa de este gas. Plantas que crecen en sitios pantanosos o con gran contenido de agua tienen problemas . Existe un desarrollo de aerenquima. Formación de neumatóforos (estructuras que crecen desde las raíces y proveen un camino para la difusión de oxígeno ejemplos: *Avicennia* y *Rhizophora*

Temperatura

Respiración aumenta sustancialmente con aumentos de la temperatura entre 0 y 30 oC. y llega a máximo a 40 o 50 oC