

# METABOLISMO

- Conjunto de reacciones y procesos energéticos que tienen lugar en el interior celular.

- Tipos de reacciones metabólicas:

1- ANABÓLICAS - permiten la formación de moléculas orgánicas complejas a partir de precursores sencillos, conllevan gasto energético

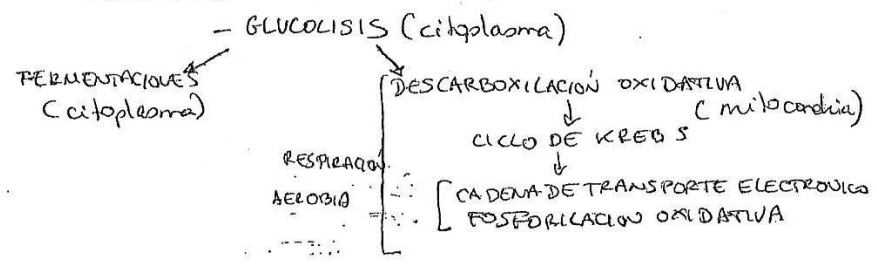
2- CATABÓLICAS - suponen la degradación de las moléculas orgánicas complejas a otras más sencillas, sus precursores, produciendo energía (en forma de ATP o de poder reductor en transportadores de e<sup>-</sup> y H<sup>+</sup>: NADH, NADPH, FADH<sub>2</sub>)

- TIPOS DE METABOLISMO CELULAR (ANABOLISMO)

		Fuente E	
		Luz	Reacciones Químicas
Fuente C	CO <sub>2</sub>	FOTOLITOTROFOS	QUIMIOORGANOTROFOS
	C orgánico	FOTORGANOTROFOS	QUIMIOORGANOTROFOS

- REACCIONES DEL ANABOLISMO → FOTOSÍNTESIS / QUIMIOSÍNTESIS

- REACCIONES DEL CATABOLISMO



# CATABOLISMO

= El catabolismo comprende el metabolismo de degradación oxidativa de moléculas orgánicas, cuya finalidad es la obtención de la energía necesaria para que la célula realice sus funciones vitales.

- La célula debe disponer de una última molécula a la que pueda ceder los e<sup>-</sup> o los H<sup>+</sup> desprendidos en las rutas oxidativas. Según la naturaleza del aceptor final los procesos se pueden clasificar en:

- aerobios o aerobios → aceptor final el oxígeno molecular O<sub>2</sub>
- anaerobios o anaerobios → a: es otra molécula NO<sub>2</sub><sup>-</sup> / SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

- PODER REDUCTOR → reacciones oxidación-reducción (Re-dox)

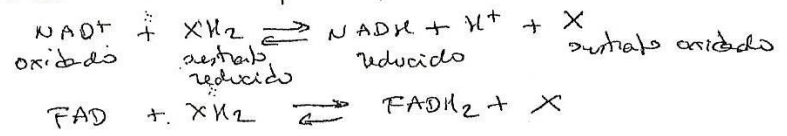
Tipos de reacciones en las que se van a generar moléculas reducidas (transportadores de e<sup>-</sup>/H<sup>+</sup>) que finalmente podrán dar lugar a ATP. (NADH, NADPH, FADH<sub>2</sub>)

- La energía almacenada en los enlaces químicos se transfiere a otros enlaces químicos recién formados. En la transferencia los e<sup>-</sup> pasan de un nivel energético a otro diferente. Estas reacciones se conocen como reacciones de oxidación-reducción.

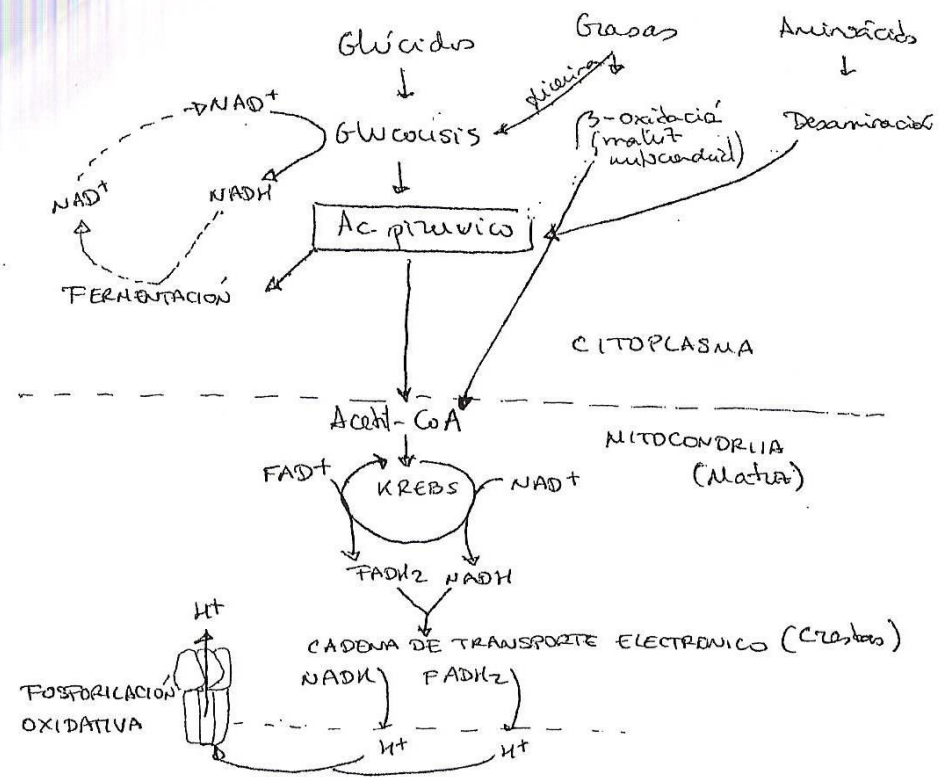
- oxidación → pérdida de e<sup>-</sup>, la molécula se oxida

- reducción → ganancia de e<sup>-</sup>, la molécula se reduce

Muchas veces los e<sup>-</sup> van unidos a H<sup>+</sup> por lo tanto la oxidación se vea una pérdida de H<sub>2</sub> (dehidrogenación) y la reducción ganancia de H<sub>2</sub> (hidrogenación)



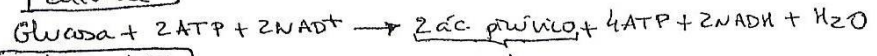
REACCIONES DEL CATABOLISMO



**GLUCOLISIS**

- ① - Fosforilación glucosa - Citoplasma - ausencia O<sub>2</sub>  
 $\text{Glucosa} + 2\text{ATP} \rightarrow \text{Fructosa 1,6-difosfato} \rightarrow \text{Dihidroxiacetona-P} \rightarrow \text{Gliceraldehído-3-P}$
- ② - Oxidación → energía + poder reductor  
 $2 \times (\text{Gliceraldehído-3-P} + \text{P}_i) \rightarrow 1,3 \text{ difosfoglicarato} \rightarrow \text{ATP, NADH (fosforilación nivel sustado)} \rightarrow 3\text{-fosfoglicarato}$
- ③ - 3-fosfoglicarato → ac. piruvico  
 $\rightarrow \text{ATP (fosforilación nivel sustado)} \times 2$

**Balace**

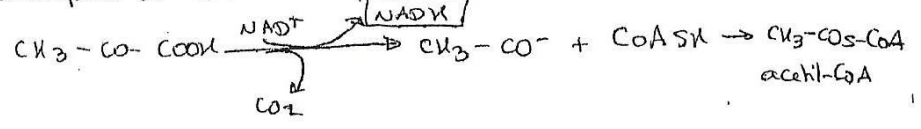


**Neto:** 2 ATP  
2 NADH

Destino: Fermentación (citoplasma) → Krebs (mitochondria)

**-DESCARBOXILACIÓN OXIDATIVA → CICLO DE KREBS**

El ac. piruvico obtenido en la glucólisis tiene que entrar al interior de la mitochondria, ya que es allí donde se encuentran las enzimas necesarias para seguir el proceso de oxidación. Para ello el ac. piruvico tiene que sufrir una serie de reacciones:  
 - Descarboxilación oxidativa (matriz mitochondrial)  
 - se produce una oxidación del 1º carbono y 2 oxigenos se separan, se produce así CO<sub>2</sub> (descarboxilación) y se forma el grupo acilo CH<sub>3</sub>-CO-. Esta reacción la cataliza el complejo enzimático de la piruvato deshidrogenasa formado por 3 enzimas, 5 coenzimas. Posteriormente al grupo acilo se le une CoA y se forma así Acetil-CoA que se incorpora al ciclo de Krebs.



- ① Ciclo de Krebs (matriz mitochondrial)  
 - el acetil CoA se incorpora reaccionando con el ac. oxalacético.  
 - produce oxidación completa del acetil-CoA a CO<sub>2</sub>  
 - los e<sup>-</sup> cedidos en las oxidaciones se capturan por NAD<sup>+</sup> y FAD → NADH, FADH<sub>2</sub>

Cadena de transporte electrónico

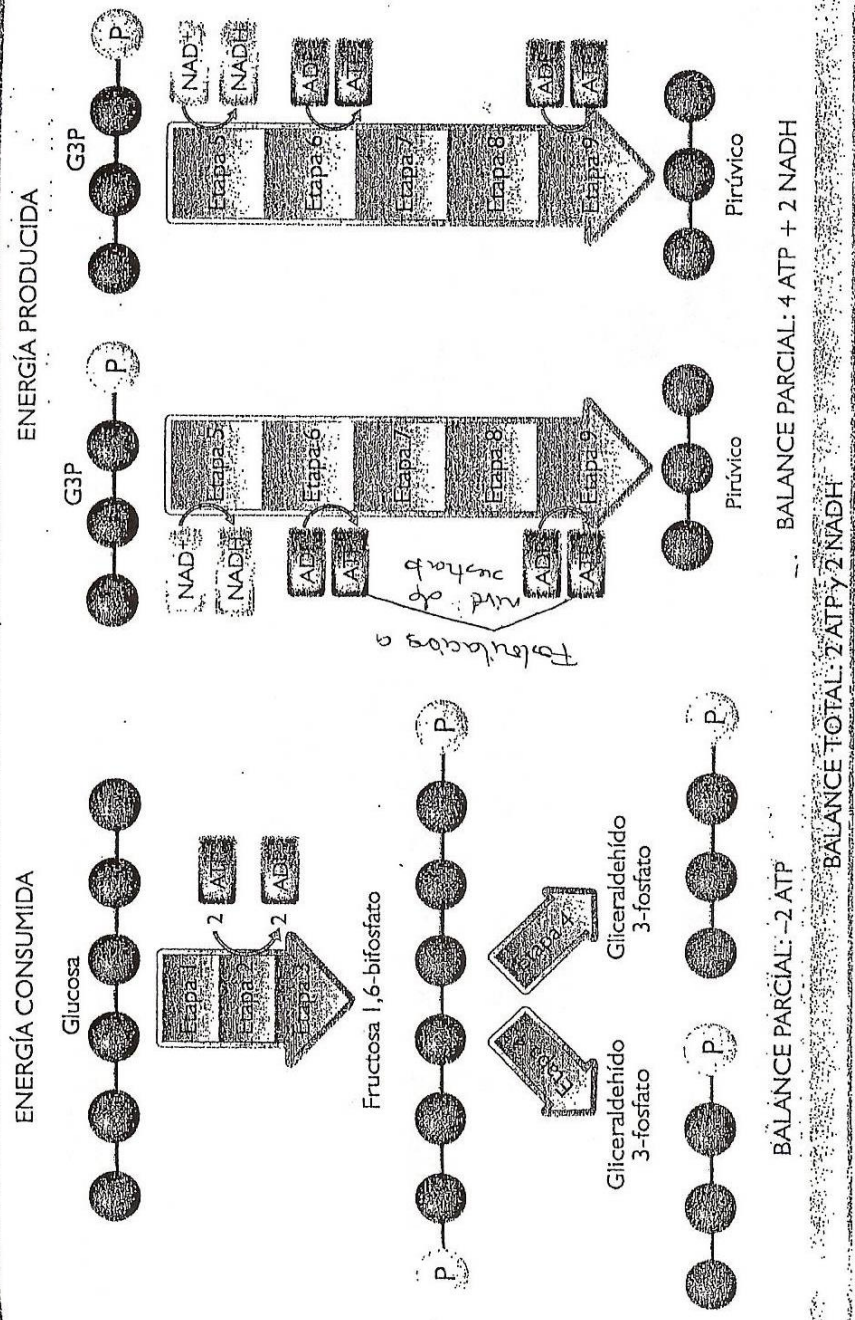
e<sup>-</sup> y H<sup>+</sup> de NADH y FADH<sub>2</sub> pasan a complejos enzimáticos (transportadores de e<sup>-</sup>) situados en las crestas mitochondiales. Se transfiere lo e<sup>-</sup>, y los H<sup>+</sup> son bombeados al espacio intermembrana → gradiente electroquímico → fuerza proton-motriz

② Fosforilación oxidativa → Partícula F (F<sub>0</sub>+F<sub>1</sub>) en crestas mitochondiales (actividad ATP sintetasa). Los H<sup>+</sup> vuelven a la matriz a través de partícula F, la energía que liberan sirve para la fosforilación del ADP → ATP

- Fermentación a nivel de azúcar - la energía necesaria para la síntesis de ATP proviene de la oxidación de azúcares previamente sintetizados en energía

# GLUCOLISIS

## RESUMEN DE LA GLUCOLISIS



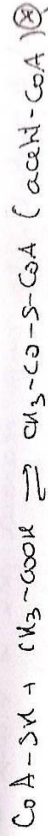
### Balance energético

Las reacciones descritas tienen lugar en prácticamente todas las células vivas, desde los protistas más sencillos a las células eucariotas de nuestro cuerpo. Se necesita la energía de dos moléculas de ATP para iniciar el proceso; sin embargo, una vez iniciado se producen dos moléculas de NADH y cuatro moléculas de ATP. Por tanto, el **balance** es de dos moléculas de NADH y dos moléculas de ATP por cada molécula de glucosa. Su ecuación global es:



### Etapas clave de la glucólisis

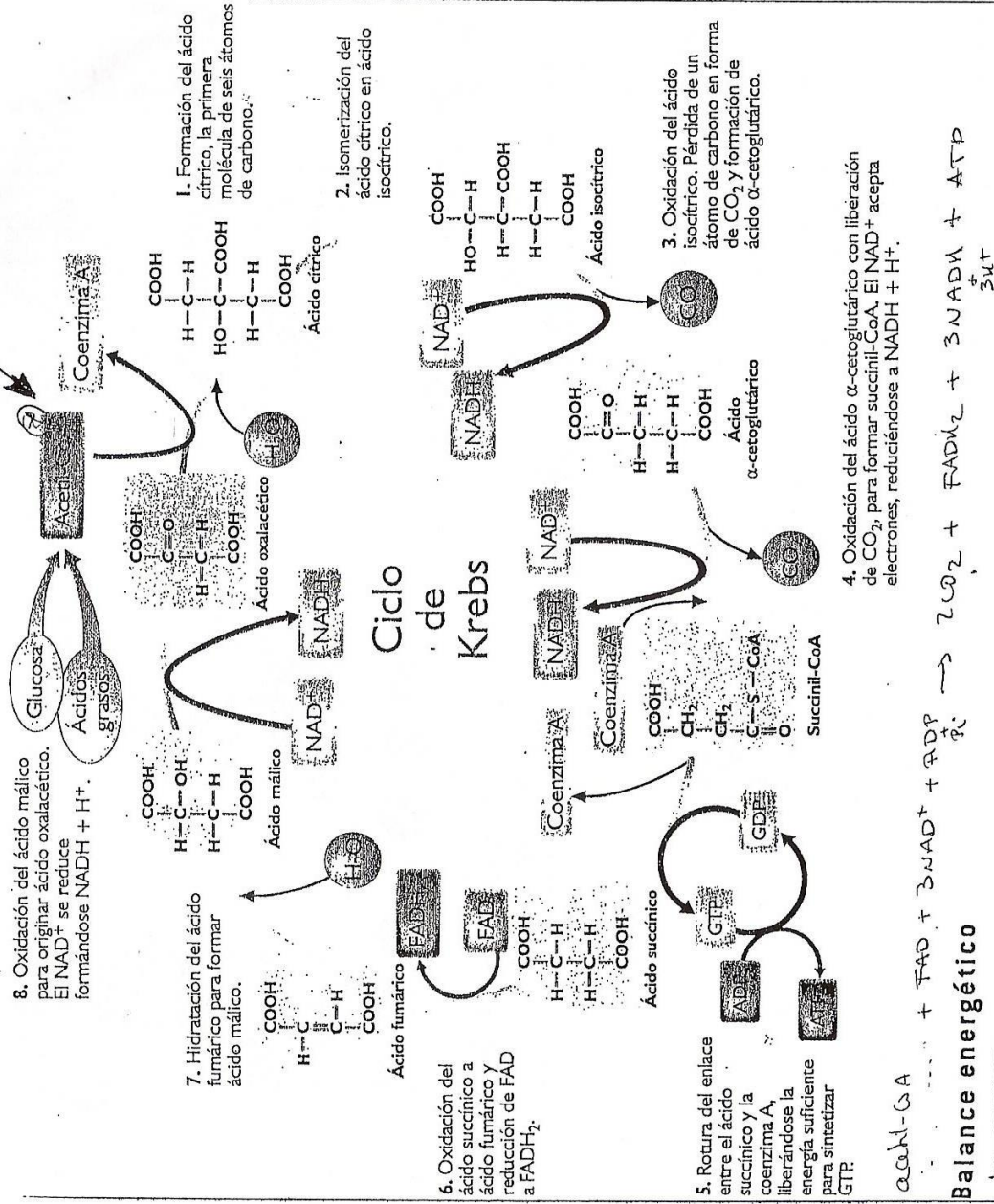
- Un punto crucial de la glucólisis es la etapa 5. Obviamente, si el NADH producido no vuelve a oxidarse, la ruta se detendrá. El modo de oxidarse dependerá de la disponibilidad de oxígeno.
- En **condiciones aerobias**, las moléculas de NADH ceden sus electrones a la cadena de transporte electrónico, que los conducirá hasta el oxígeno (O<sub>2</sub>), produciéndose agua y regenerándose NAD<sup>+</sup>, que se reutilizará en la glucólisis. En estas condiciones, el ácido pirúvico entra en la mitocondria y se transforma en grupos acetilo, que formarán el acetil coenzima A (acetil-CoA), que ingresará en la **respiración celular**.
- En **condiciones anaerobias**, ya sea en bacterias o en células eucariotas sometidas a condiciones de anoxia (como ocurre en el músculo en condiciones anaerobias), el NADH se oxida a NAD<sup>+</sup> mediante la reducción del ácido pirúvico. Estas etapas hacen posible que se produzca energía de forma anaeróbica, denominándose **fermentaciones**, y ocurren en el citosol.



## El ciclo de Krebs (Matriz mitocondrial)

El nombre de *ciclo de Krebs* hace honor a su descubridor. Por el tipo de moléculas que participan, se denomina también *ciclo de los ácidos tricarboxílicos* o, simplemente, *ciclo del ácido cítrico*.

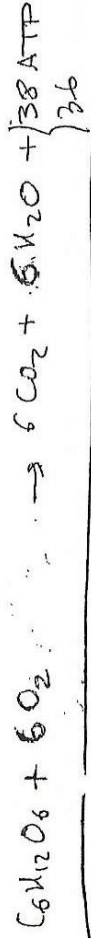
El ciclo de Krebs consiste en una cadena cíclica de reacciones en cada una de las cuales interviene una enzima específica. Al pH de la matriz mitocondrial, los diferentes metabolitos que intervienen en la ruta se encuentran en sus respectivas formas aniónicas.



En cada vuelta del ciclo se genera una molécula de GTP, tres de  $\text{NADH}$  y una de  $\text{FADH}_2$ . Cada vuelta del ciclo consume un grupo acetilo y regenera un ácido oxalacético, que puede iniciar otro nuevo ciclo. Se necesitan dos vueltas del ciclo para oxidar al máximo, en cuanto al carbono, una molécula de glucosa, ya que de cada una se obtienen dos de ácido pirúvico en la glucólisis. Por tanto, por cada molécula de glucosa en el ciclo de Krebs se forman dos moléculas de GTP, seis de  $\text{NADH}$  y dos de  $\text{FADH}_2$ . El GTP transfiere su grupo fosfato al ADP, produciendo una molécula de ATP. En realidad, en el ciclo de Krebs se obtiene poca energía en forma de moléculas fosforiladas, pero sí en forma de nucleótidos reducidos.

En el ciclo de Krebs no se necesita oxígeno directamente. Los electrones y protones que se mueven en el ciclo son aceptados por  $\text{NAD}^+$  y FAD. Sin embargo, sí se necesitan en la siguiente etapa de la respiración, la cadena respiratoria.

Balace ogfivo global REACCION GLOBAL CATABOLICO GLUCO

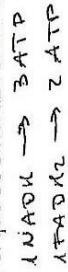


**Fosforilación oxidativa: hipótesis quimiosmótica**

(membrana interna, vesículas mitocondriales)

Cuando los electrones se mueven a través de la cadena transportadora, van saltando a niveles energéticos inferiores y paralelamente se va liberando energía. Esta energía se emplea para fabricar ATP a partir de ADP, en un proceso denominado **fosforilación oxidativa**.

Las medidas cuantitativas demuestran que por cada dos electrones que pasan desde el NADH al oxígeno se forman tres moléculas de ATP a partir de ADP y Pi. Sin embargo, por cada dos electrones que pasan del FADH<sub>2</sub> y entran en la cadena en un nivel energético menor, se forman dos moléculas de ATP. El mecanismo por el que se sintetiza el ATP se explica según la teoría del **acoplamiento quimiosmótico**.



**Acoplamiento quimiosmótico**

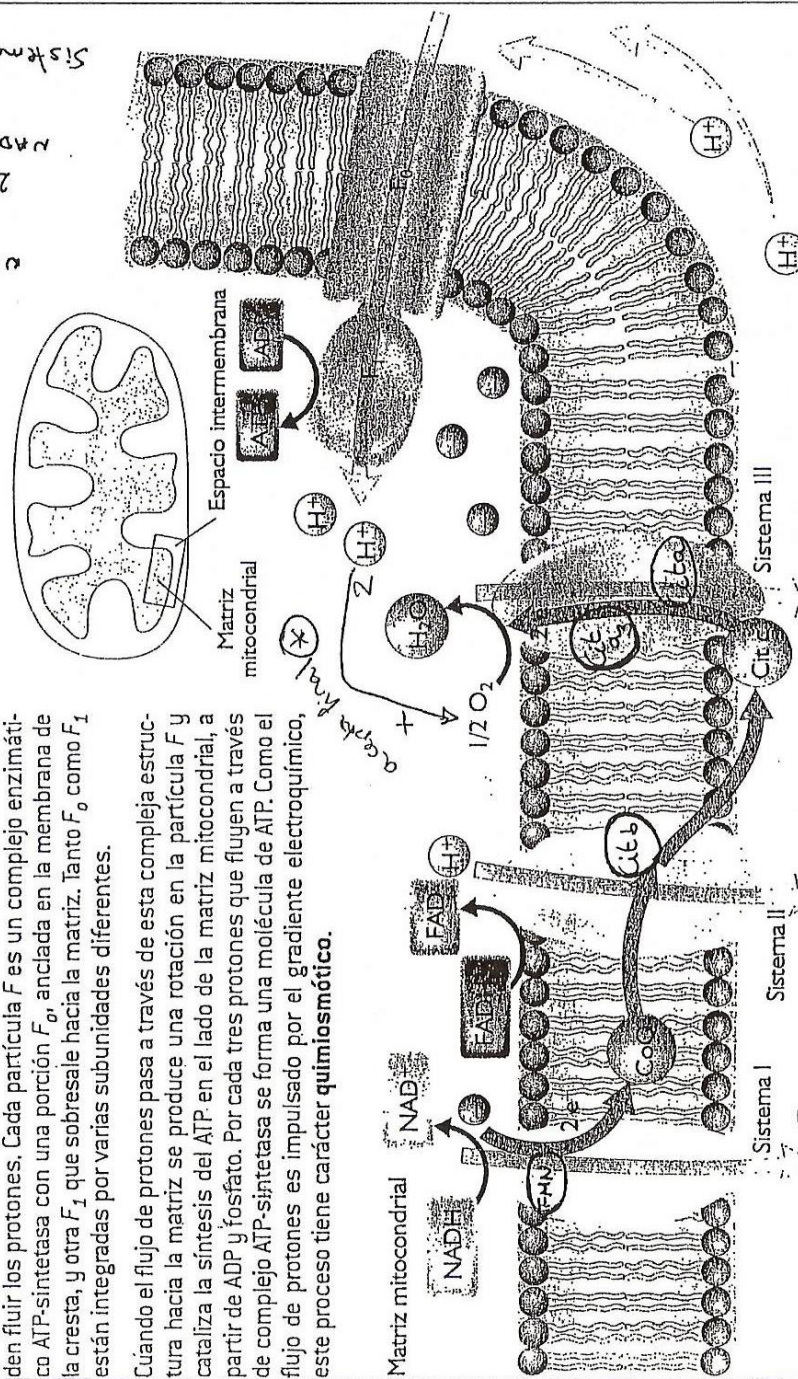
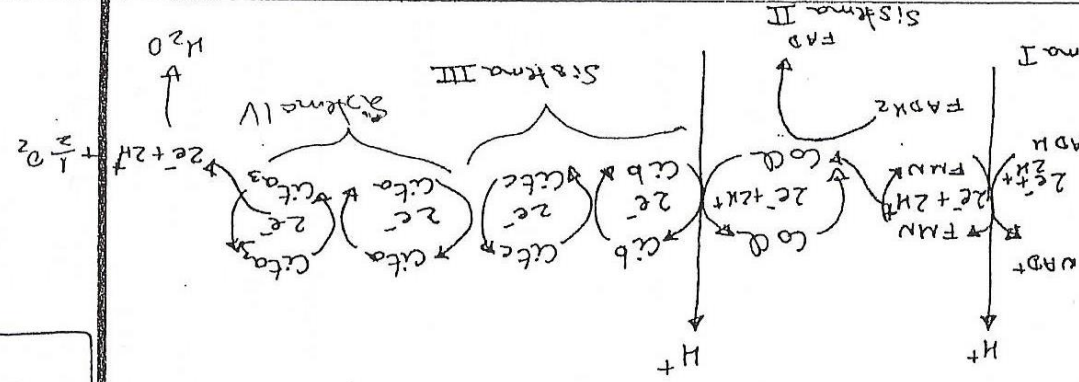
El mecanismo de la fosforilación oxidativa fue propuesto en 1950 por el bioquímico británico Peter Mitchell. Este mecanismo depende de la generación de un gradiente de protones a través de la membrana mitocondrial interna.

Los componentes de la cadena transportadora de electrones se encuentran ordenados en la membrana formando tres complejos diferenciados. Estos complejos son, además, auténticas bombas de protones. Cuando los electrones van pasando de un nivel energético a otro inferior, los complejos proteicos emplean la energía que se libera para bombear los protones desde la matriz mitocondrial al espacio intermembrana. Se piensa que por cada par de electrones que recorre la cadena desde el NADH hasta el oxígeno se bombean diez protones fuera de la matriz.

Como la membrana mitocondrial interna es impermeable a los protones, el bombeo de estos consigue que se establezca un **gradiente electroquímico** entre la matriz y el espacio intermembrana, capaz de generar una **fuerza protomotriz** de unos 230 mV que proporciona energía aprovechable para hacer funcionar cualquier proceso que esté acoplado a un canal por el que puedan circular los protones a favor de gradiente hacia la matriz.

Las **partículas F** forman esos canales a través de los cuales pueden fluir los protones. Cada partícula **F** es un complejo enzimático ATP-sintetasa con una porción **F<sub>0</sub>**, anclada en la membrana de la cresta, y otra **F<sub>1</sub>** que sobresale hacia la matriz. Tanto **F<sub>0</sub>** como **F<sub>1</sub>** están integradas por varias subunidades diferentes.

Cuando el flujo de protones pasa a través de esta compleja estructura hacia la matriz se produce una rotación en la partícula **F** y cataliza la síntesis del ATP en el lado de la matriz mitocondrial, a partir de ADP y fosfato. Por cada tres protones que fluyen a través de complejo ATP-sintetasa se forma una molécula de ATP. Como el flujo de protones es impulsado por el gradiente electroquímico, este proceso tiene carácter **quimiosmótico**.



El aceptor final de los e- y H+ es el O<sub>2</sub>, por eso se forma H<sub>2</sub>O  
 Este potencial oxidativo por el O<sub>2</sub> es el aceptor final

**FORMACIÓN OXIDATIVA EXPEDICIONARIA**

(NO EN LA MITOCONDRIA)

Mismo proceso, las estructuras se localizan en la membrana plasmática. El bombeo de H<sup>+</sup> se realiza al exterior celular. Los peroxisomas se disponen en la membrana plasmática (FD en bicapa, FI hacia el citoplasma) de modo que cuando vuelve a entrar los H<sup>+</sup> hacia el citoplasma se libera la energía para la síntesis del ADP → ATP. Capacidad ATP-interna de FI.

**BALANCE ENERGÉTICO GLOBLAL**

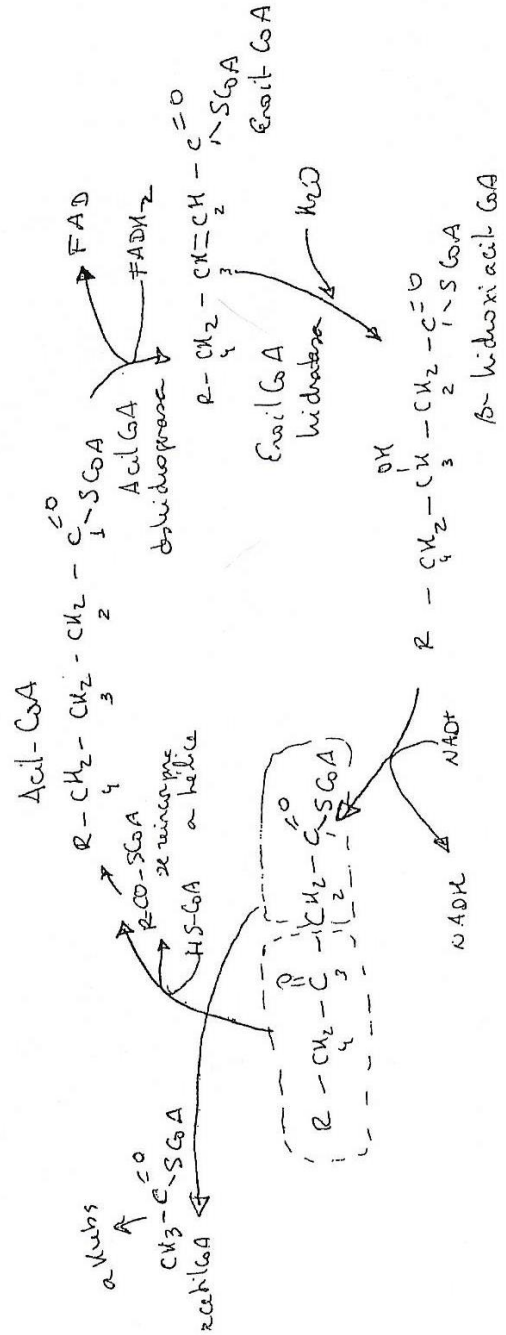
- (\*) GLUCOSIS 2 ATP → 2 ATP
  - 2 NADH  $\frac{X2}{X3}$  ATP en cadena transporte electrónico →  $\frac{4}{3} \times 6$  ATP
  - (\*) FORMACIÓN ACETIL-COA 2 X NADH X 3 ATP codere transporte electrónico → 6 ATP
  - (\*) KREBS 2 X 1 ATP → 2 ATP
  - 2 X (3 NADH) (X 3 ATP)  $\frac{transporte}{cadena}$  electrónico → 18 ATP
  - 2 X (1 FADH<sub>2</sub>) (X 2 ATP) → 4 ATP
- 
- 36/38 ATP

**OTRAS RUTAS CATABOLICAS**

- KREBS - β oxidación de ácidos grasos o hélice de Lyman

Acilglicéridos → se separa la glicerina (se incorpora a la glucólisis en forma de gliceraldehído) y los ácidos grasos se incorporan a β-oxidación

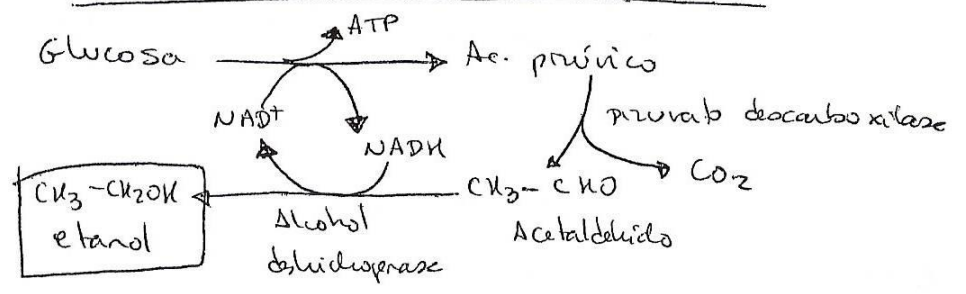
El ac. graso se activa en la membrana mitocondrial externa al unirse a acetil-Co formado. Acil-CoA que así activado se ve a la carnitina formando Acil-carnitina, este permite el paso a la membrana interna y finalmente a la matriz mitocondrial. La β-oxidación elimina sucesivamente unidades de 2 átomos de C desde el extremo carbonilo.



# FERMENTACIONES

- Oxidación incompleta de los compuestos orgánicos
- en condiciones de catabolismo anaerobio, es decir, cuando el último aceptor de  $K^+$  o  $e^-$  no es el oxígeno la vía que se sigue es una fermentación.

## ⑧ FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA - ETÍLICA



1. Descarboxilación (pérdida de  $CO_2$ ) del piruvato, realizada por la piruvato descarboxilase
  2. La alcohol deshidrogenasa reduce el acetaldehído a etanol, pero ello el  $NADH$  se oxida a  $NAD^+$  que así se repone para mantener activa la glucólisis
- Aplicación industrial -

### \* Fabricación de pan -

Harina + agua + sal + levadura (*Saccharomyces cerevisiae*)  
 El agua ayuda a que se cumpla hidrolisis el almidón a monos y disacáridos que la levadura fermenta.  
 El  $CO_2$  hace aumentar la masa, la esponja  
 - Tras la cocción se pierde el etanol (se evapora, junto con el agua) y mueren las levaduras

### \* Fabricación vino y cerveza

Vino - Pensado de la uva para extraer el mosto, presenta fructosa / glucosa que es fermentada por *Saccharomyces cerevisiae*, presente sobre la uva

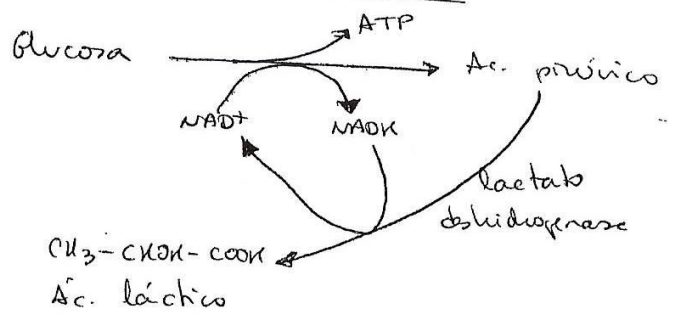
- Se deja fermentar, se produce  $CO_2$  que si se deja de lugar a vino espumoso, o bien se elimina
- Finalmente se aclara (eliminar la turbidez) y embotella

Cerveza - A partir de cebada, se deja germinar y luego se tuesta (malteado), los plúscidos presentes germinan (*Saccharomyces cerevisiae*), se le puede añadir húpulo (sabor amargo).

### \* Fabricación vinagre

1. Fermentación alcohólica para producir vino, cerveza o  $arróiz$ ,  $aidaa$  (*Saccharomyces cerevisiae*)
2. Transformación del etanol en ácido acético por la oxidación a través de bacterias *Acetobacter* *Glucobacter* *alobias estictos*

### ⊗ FERMENTACIÓN LÁCTICA



El ácido piruvico es reducido por la lactato deshidrogenasa a ácido láctico, para ello se oxida el NADH a NAD+ por así se regenera para mantener activa la glucólisis

- Kowalactice - cuando solo se produce ácido láctico  
Lactobacillus, Lactococcus
- Heteroláctico - además de ácido láctico se producen otros compuestos. Levosporobacter, Lactobacillus
- Aplicación industrial -
- Producción queso, yogur, leches fermentadas -

### ⊗ Fabricación yogur - leches fermentadas

Lactobacillus, Lactococcus mixtos de forma natural en el leche sin pasteurizar.  
Se deja fermentar la leche en condiciones controladas de T°C 7 pH el propio ácido láctico actúa de conservante

### \* Fabricación de queso

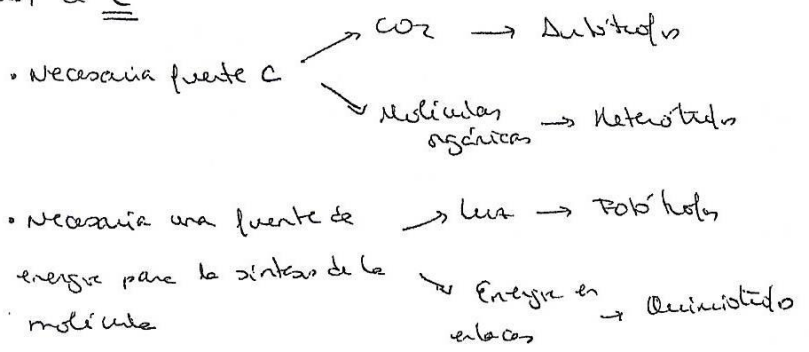
- 1- Leche + rennet (enzima)  
↳ precipita los proteos de la leche formando la cuajada, el resto es el suero láctico.
- 2- Separación del suero y de la cuajada (filtración)  
se añade sal a la cuajada
- 3- Maduración del queso -  
se pueden añadir otros bacterios para aportar otros sabores

En las fermentaciones no se produce energía en forma de ATP, se oxida el NADH procedente de la glucólisis para así obtener NAD+ necesario para que la vía glucolítica siga activa ya que es esta la que produce ATP (por fosforilación a nivel de sustrato)



# ANABOLISMO

Conjunto de procesos bioquímicos mediante los cuales la célula sintetiza la mayoría de las sustancias que las constituye  
Formación de moléculas orgánicas complejas basadas en cadenas de C



2 tipos de procesos anabólicos:

- 1- Obtienen moléculas orgánicas a partir de inorgánicas CO<sub>2</sub> (Autótrofos)
  - Dependiendo de la fuente de energía
    - Luz → FOTOSÍNTESIS - FOTOLICOTRÓFOS
    - Oxidación moléculas → QUIMIOSÍNTESIS - QUIMIOLITÓTROTOS
- 2- Sintetizan sus moléculas orgánicas a partir de otra también orgánica (transforman unas en otras) (tanto en autótrofos como heterótrofos)

# FOTOSÍNTESIS

## FOTOSÍNTESIS OXIGÉNICA

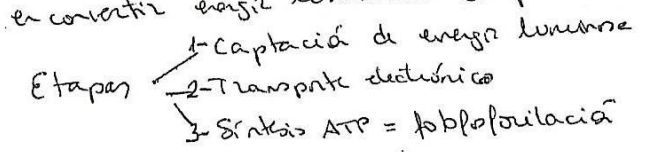
- Plantas, algas, cianobacterias, transforman la energía de la luz a energía química, se almacena en forma de ATP que luego se utiliza para sintetizar moléculas orgánicas.
- Proceso que libera oxígeno (O<sub>2</sub>) como producto final. Este O<sub>2</sub> procede de la fotólisis del H<sub>2</sub>O que actúa como donador de e<sup>-</sup>

## Fases fotosintéticas oxigenicas

- 1- FASE LUMINOSA - (tilacoides)
  - Luz captada por moléculas fotoreceptoras (complejos) localizadas en las membranas tilacoidales. Se sintetiza ATP y NADPH
- 2- FASE OSCURA - (estroma)
  - Fijación del CO<sub>2</sub> para producir moléculas orgánicas, utiliza el ATP y NADPH

## 1- FASE LUMINOSA -

- Complejo antena
- Situado en membrana tilacoidal
- Conjunto de pigmentos fotosintéticos que reciben la energía luminosa, se transfiere a molécula especial de clorofila llamada centro de reacción (PSI-700; PSII-680) especializadas en convertir energía luminosa en química



- Fotosistema (PS) - conjunto formado por la molécula de clorofila del centro de reacción asociada a moléculas aceptoras de  $e^-$  (cadena de transporte electrónico)

PSI - 700 nm  
PSII - 680 nm } longitud de onda

1- Captación energía luminosa -

Luz captada por clorofila, carotenoides, del complejo antena.  
La energía se transfiere al centro de reacción.

2- Transporte electrónico -

Energía de los fotones captada por centro de reacción, se excita y pierde  $e^-$ , se cede a compuestos aceptores (cadena de transporte electrónico)

- Flujo electrónico abierto - en Z -

Intervienen 2 fotosistemas (PSI y PSII)

PSI - al recibir 2 fotones se excita el centro de reacción que cede  $2e^-$ , pasan a la cadena de transporte electrónico:  $\rightarrow$  ferredoxina  $\rightarrow$  NADP $^+$  se reduce a NADPH  
El PSI queda oxidado al perder  $2e^-$

PSII - recibe 2 fotones que excita el centro de reacción, cede  $2e^-$ , pasan a la cadena de transporte electrónico:  
feofitina  $\rightarrow$  plastoquinona  $\rightarrow$  citocromo  $b_6/f$   $\rightarrow$  plastocianina  
los cede al  
PSI  
así recupera sus  $2e^-$   
cedidos

El PSII recupera sus  $2e^-$

a partir de la fotólisis del  $H_2O$   $2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2}O_2$

3- Síntesis de ATP = fotofosforilación -

Los  $H^+$  de la fotólisis del agua se acumulan creando un gradiente protonomótrico entre el interior del tilacoide y el estroma.

Los  $H^+$  salen al estroma a través de los porocitos CF con actividad ATPase (ATP sintetasa) (CF<sub>0</sub> - en membrana tilacoide, CF<sub>1</sub> - hacia el estroma)

Al salir liberan energía permitiendo la fosforilación del ADP  
Fotofosforilación  $\rightarrow$  ATP

- Fotofosforilación cíclica -

PSI cede  $e^-$  a ferredoxina que lo pasa a citocromo  $b_6/f$  (PSII) que lo pasa a plastocianina y de nuevo a PSI.

Solo hacen falta fotones para estimular centro de reacción PSI

Los  $e^-$  vuelven a PSI, no se forma NADPH.

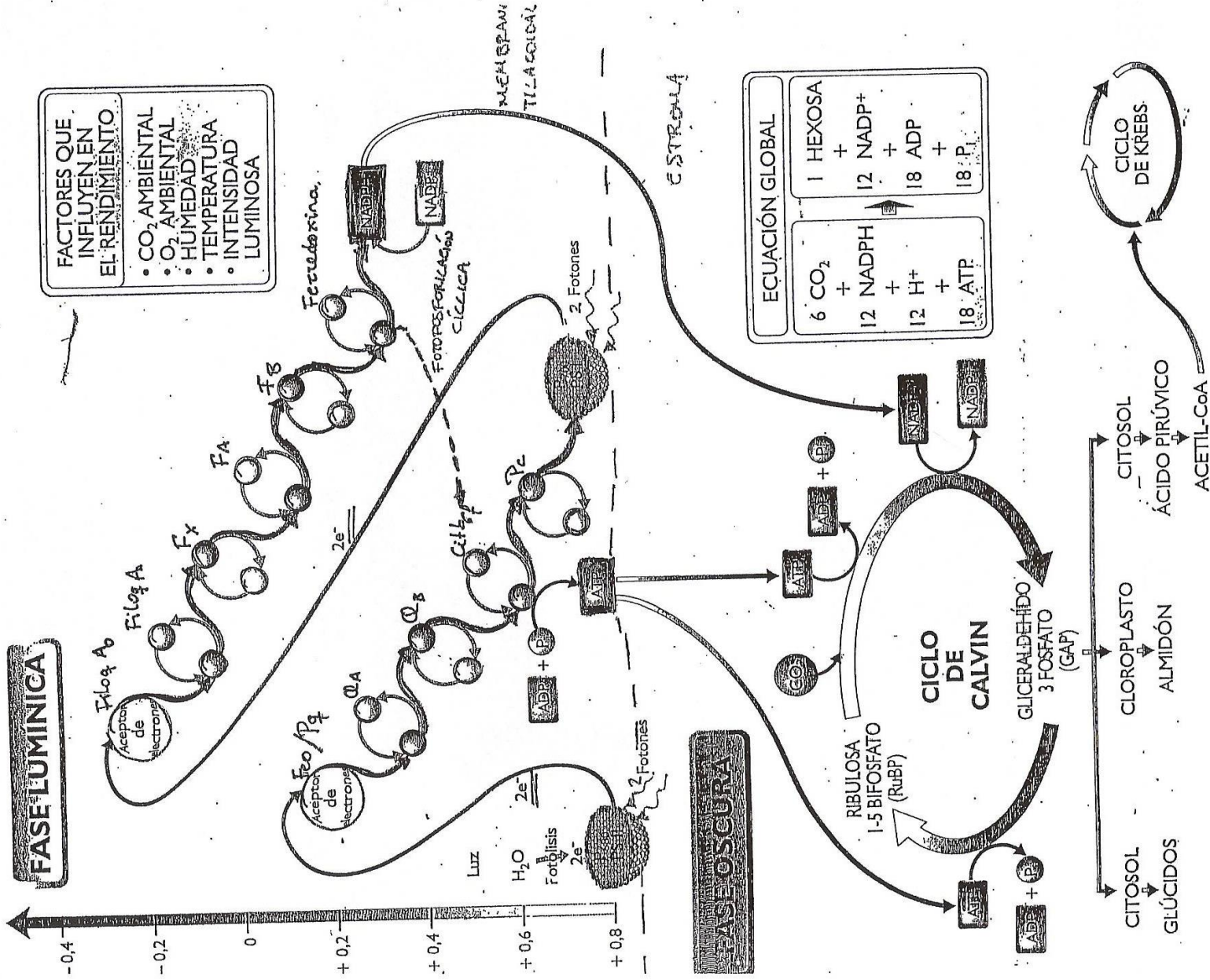
Si se desplaza  $H^+$  que permite fosforilación ATP

- FOTOSÍNTESIS EN BACTERIAS -

- ⊕ Cianobacterias - Fotosíntesis oxigénica  
- igual que en plantas y algas  
- 2 fotosistemas,  $H_2O$  cede  $e^-$ , se libera  $O_2$   
Fotosistemas localizados a membrana (intracelular o vesicular)

- ⊕ Resto bacterias - FOTOSÍNTESIS ANOXIGÉNICA  
(bacterias púrpuras y verdes del azufre)  
- solo PSI (bacterioclorofila)  
- proceso de fotofosforilación cíclica - síntesis ATP  
- no libera  $O_2$

# ESQUEMA GENERAL DE LA FOTOSÍNTESIS



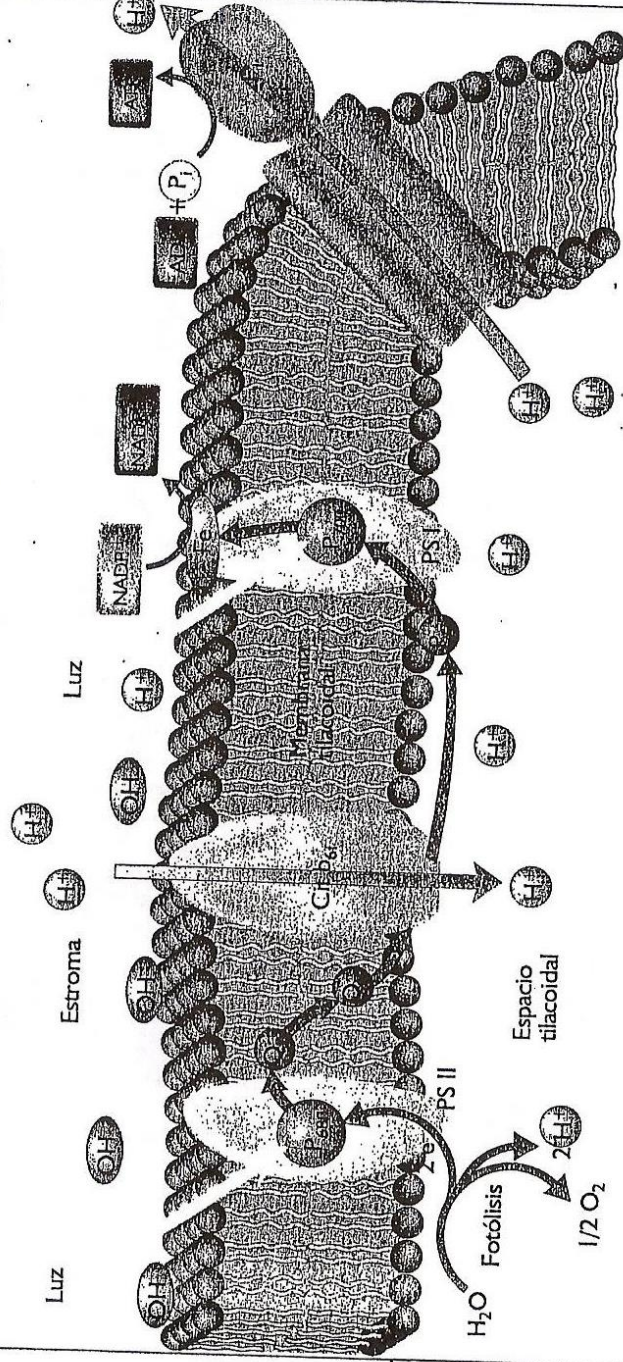
## Fotofosforilación no cíclica

La disposición de los pigmentos, complejos proteicos, fotosistemas I y II, los transportadores de electrones de ambas cadenas de transporte electrónico y las enzimas necesarias, como la ATP-sintetasa, mantienen una disposición espacial concreta en la membrana tilacooidal que hace posible la síntesis de ATP.

El mecanismo de síntesis de ATP es prácticamente idéntico al presentado en la mitocondria. Depende de la existencia en la cara estromática de la membrana tilacooidal de un complejo enzimático, la ATP-sintetasa, semejante a las partículas F de las crestas mitocondriales. El bombeo de protones al interior del tilacoide genera un gradiente electroquímico que crea la fuerza promotriz (de unos 210 mV) necesaria para la síntesis de ATP. En el cloroplasto, se sabe que la síntesis de cada ATP en el estroma, catalizada por la porción  $F_1$ , está asociada al flujo de cuatro protones a través de la partícula.

Como la energía, en este caso, procede en último término de la luz, este proceso recibió el nombre de **fotofosforilación**.

## PROCESO DE FOTOFOSFORILACIÓN NO CÍCLICA

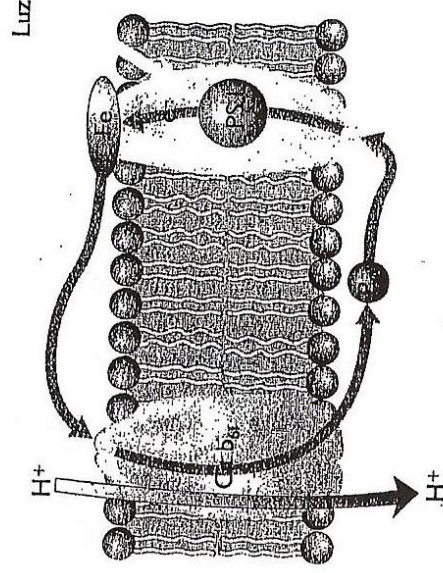


## Fotofosforilación cíclica

Cabe la posibilidad de un **transporte cíclico** de los electrones independiente del PSII. El proceso se inicia con la absorción de energía por parte del PS I y la transferencia del electrón a la ferredoxina. Esta cede los electrones al citocromo  $b_6f$ , con lo cual se cicla el proceso. En este caso, ni se reduce  $NADP^+$  ni se rompen moléculas de agua; es decir, solo actúa el PS I. Sigue habiendo bombeo de protones, y por tanto seguirá acumulándose energía, que hará posible la síntesis de ATP.

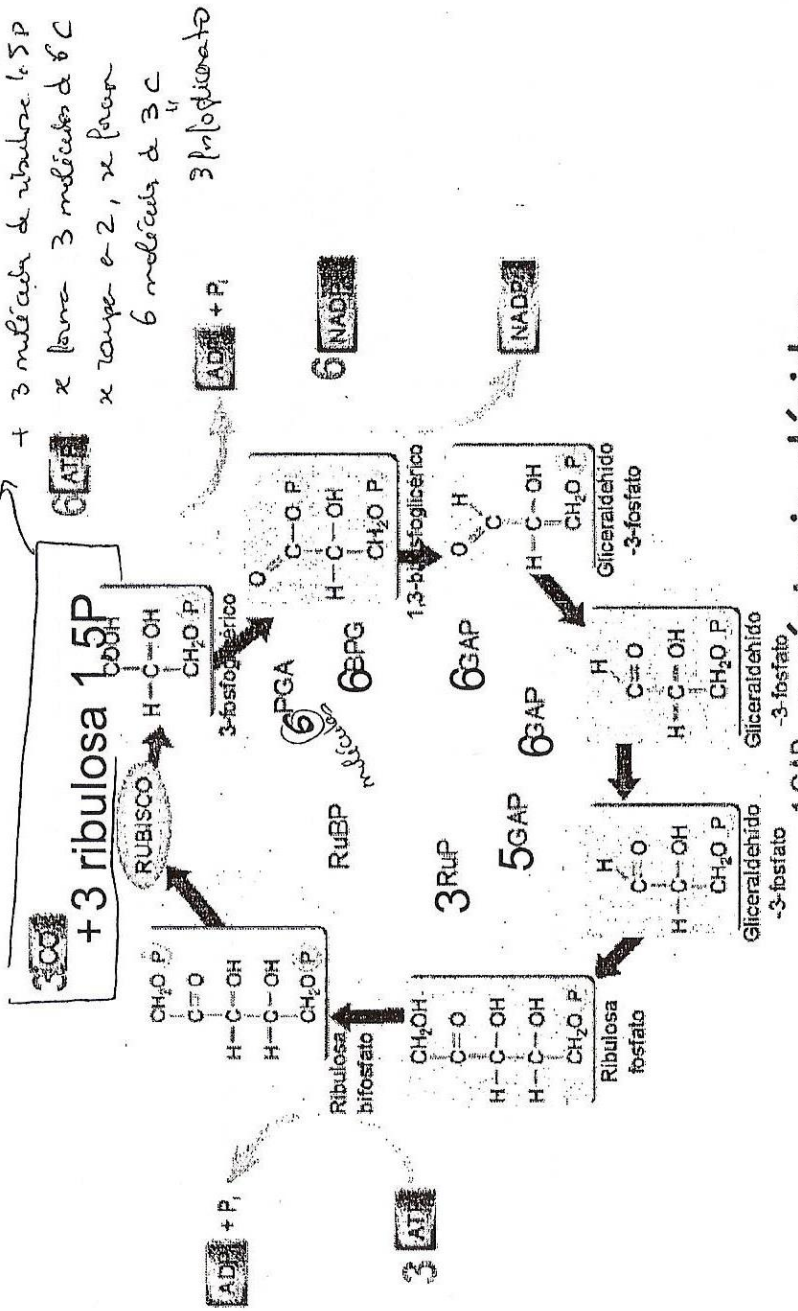
El carácter cíclico o no cíclico del transporte de electrones depende de la necesidad de  $NADH$ , glucidos y ATP extra de la célula. En el caso de necesidad de ATP, los cloroplastos cierran el PS I de forma que la energía se dirige a la síntesis de ATP en lugar de hacia la producción de  $NADPH$ .

## PROCESO DE FOTOFOSFORILACIÓN CÍCLICA



**FASE OSCURA:** La asimilación reductora del C del CO<sub>2</sub> atmosférico se realiza mediante una serie de reacciones que constituyen el **ciclo de Calvin (vía C3)**. Esta reducción se lleva a cabo con la aportación del poder reductor (NADPH + H<sup>+</sup>) y el ATP originados en la fase luminica.

x ver 3 moléculas de CO<sub>2</sub>  
 + 3 moléculas de ribulosa 1,5 P  
 x forma 3 moléculas de 6 C  
 x rompe en 2, x para  
 6 moléculas de 3 C  
 3 Polifosfato



**1ª fijación CO<sub>2</sub>**

CO<sub>2</sub> + ribulosa 1,5 difosfato  
 (ribulosa 1,5 difosfato carboxilasa (Rubisco) *enorme por lo cataliza*)  
 1C + 5C → 6C Se rompe en 2 moléculas de 3C de 3-fosfoglicerato

**2ª Reducción C del CO<sub>2</sub>**

- Fosforilación 3-fosfoglicerato + ATP → 1, 3 difosfoglicerato
- Reducción 1, 3 difosfoglicerato + NADPH → glicelalhdido 3-P *glucosa de la vida*

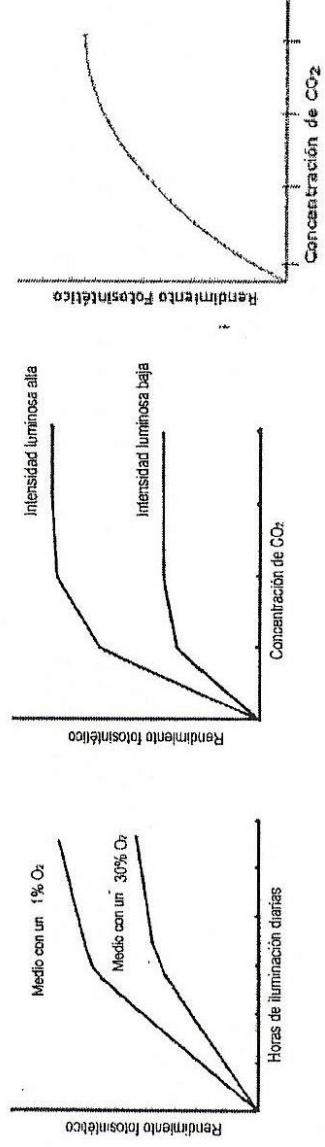
**3ª Regeneración ribulosa 1, 5 difosfato**

De las 6 moléculas de glicelalhdido 3-P solo 1 sigue reacción para síntesis de glúcidos Las otras 5 (total 5 moléculas x 3C = 15C) se reorganizan para formar 3 moléculas de Ribulosa fosfato (3 moléculas x 5C = 15C). Posteriormente se fosforilan (3 ATP) y se recuperan las 3 moléculas de ribulosa 1, 5 difosfato

**BALANCE TOTAL, ECUACIÓN GLOBAL FOTOSÍNTESIS**

$$6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{LUZ} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + (12 \text{ NADPH} + 18 \text{ ATP})$$

*la luz permite formar el NADPH y ATP (fase luminica)*



## FOTORRESPIRACION

O<sub>2</sub> compete con CO<sub>2</sub> para unirse a rubisco

Si O<sub>2</sub> alto o CO<sub>2</sub> bajo se une el O<sub>2</sub>, proceso de fotorrespiración, limita eficacia fotosintética.

Ocurre en climas calurosos, elevada insolación, plantas cierran estomas para evitar perder agua, por tanto no entra CO<sub>2</sub> y baja concentración Plantas C<sub>4</sub> -anatomía especial en la hoja para reducir fotorrespiración captan CO<sub>2</sub> por la noche (evitan pérdida agua), se almacena en forma de ácido málico (4C, por eso vía C<sub>4</sub> o Hatch-Slack)

## QUIMIOSINTESIS

-Exclusivo de bacterias QUIMIOLITOTROFAS (CO<sub>2</sub> + energía de reacciones químicas). Se clasifican dependiendo del sustrato que oxidan para obtener energía:

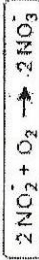
### Quimiosíntesis

#### ① - QUIMIOSÍNTESIS DEL NITRÓGENO

##### Nitrosomona



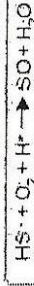
##### Nitrobacter



Oxidán amoniaco—nitrito—nitrato

Reacciones asociadas

#### ② - QUIMIOSÍNTESIS DEL AZÚFRE

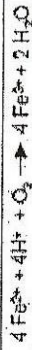


Tiobacterias y bacterias sulfurosas

Generan ácido sulfúrico

Desalcalinización suelos

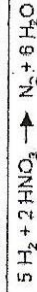
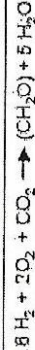
#### ③ - QUIMIOSÍNTESIS DEL HIERRO



*Thiobacillus ferrooxidans* (tiobacteria)

Medios ácidos, ferroso--ferrico

#### ④ - QUIMIOSÍNTESIS DEL HIDRÓGENO



*Hydrogenomonas*—oxidan H<sub>2</sub> produciendo agua