

# TEMA 12. CATABOLISMO Y ANABOLISMO

## 1. Catabolismo

- ▶ Fases del catabolismo:

- ▶ Tipos de catabolismos según el aceptor final de electrones:

## 2. Catabolismo de los glúcidos.

### 2.1. Glucólisis

- a. Etapas de la glucólisis.

- a.1. Etapa de activación

- a.2. Etapa de degradación.

- b. La formulación de la reacción global (balance) de la glucólisis.

### 2.2. Fermentación.

- a. Tipos de fermentación:

- a.1. Fermentación anaerobia,

- a.2. Fermentación oxidativa.

### 2.3. Respiración celular

- a. Etapas de la respiración celular.

- a.1. Obtención del acetil CoA

- a.2. Ciclo de Krebs.

- a.3. Cadena respiratoria o cadena transportadora de electrones.

- a.4. Fosforilación oxidativa.

## 3. Catabolismo de los lípidos.

### 3.1. $\beta$ -oxidación de los ácidos Grasos o hélice de Lynen.

- a. Etapas de la  $\beta$ -oxidación.

- a.1. Oxidación

- a.2. Hidratación,

- a.3. Oxidación del grupo alcohol del carbono  $\beta$

- a.4. Rotura del enlace entre los carbonos  $\beta$  y gamma del cetoacil-CoA

## 4. Catabolismo de los protidos. (aminoácidos).

## 5. Panorámica general del catabolismo

## 6. Anabolismo.

## 7. Fotosíntesis.

### 7.1. Fases y localización.

#### 7.1.1. Fase luminosa o Fotofosforilación.

- a. El proceso se desarrolla del siguiente modo:

- a.1. Captura de energía luminosa.

- a.2. Transporte de electrones.

- a.3. Fotólisis del agua.

- a.4. Fosforilación fotosintética.

- Fotofosforilación acíclica

- Fotofosforilación cíclica,

- b. Ecuación global de la fase luminosa.

#### 7.1.2. Fase oscura o ciclo de Calvin-Benson.

#### 7.1.3. Factores que influyen en la fotosíntesis

# 1. CATABOLISMO

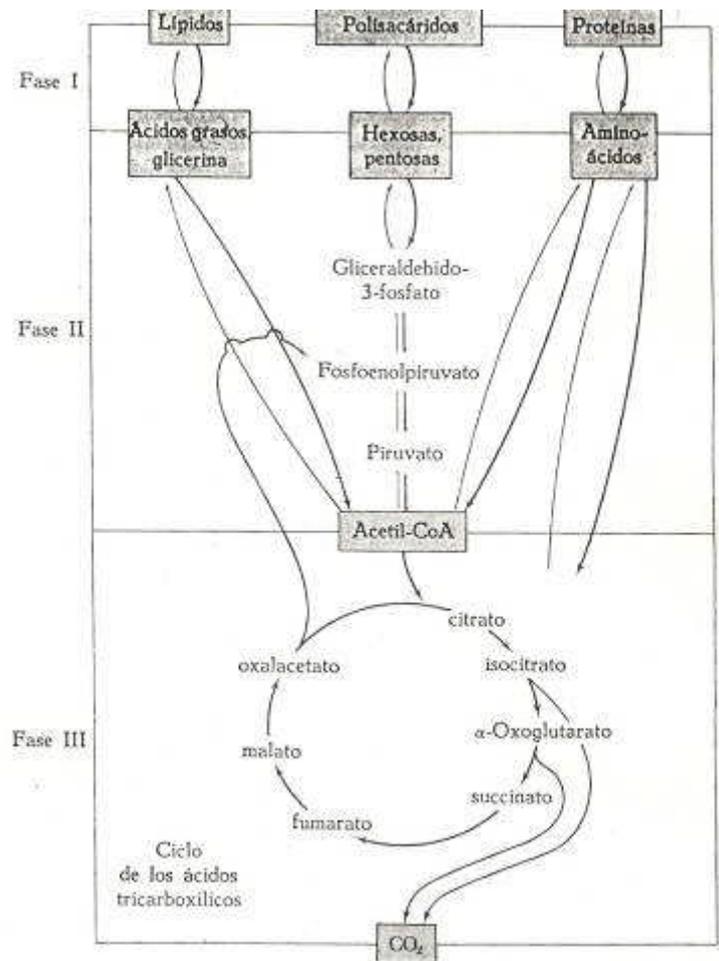
Es el conjunto de reacciones metabólicas que tienen por objeto obtener energía a partir de compuestos orgánicos complejos que se transforman en otros más sencillos. La **respiración celular aerobia** y las **fermentaciones** son las vías catabólicas más corrientes para la obtención de la energía contenida en las sustancias orgánicas. Ambas vías, no obstante, tienen una primera fase común: la **glucólisis**. Otras vías catabólicas son, la beta-oxidación de los ácidos grasos, el ciclo de Krebs, la fermentación láctica, la fermentación acética etc.

## Fases del catabolismo:

- **Fase I, fase inicial o preparatoria** en ella las grandes moléculas de los elementos nutritivos se degradan hasta liberar sus principales componentes (los polisacáridos se degradan en monosacáridos; los lípidos a ácidos grasos y glicerina, y las proteínas liberan sus aminoácidos).

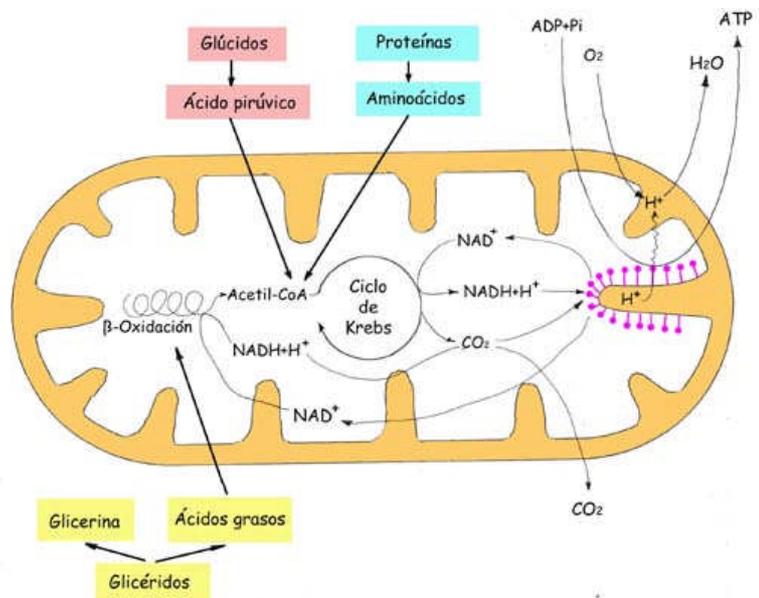
- **Fase II o fase intermedia**, en ella los diversos productos formados en la fase I, son convertidos en una misma molécula, más sencilla el **Acetil-coenzima A** (acetil CoA).

- **Fase III o fase final**, en la que el acetil-CoA (se incorpora al ciclo de Krebs) da lugar a moléculas elementales  $CO_2$  y  $H_2O$ .



De estas tres fases, la intermedia y la final son comunes para todos los **principios inmediatos orgánicos**, glúcidos, lípidos y proteínas.

El catabolismo de cada uno de ellos difiere en la fase inicial, los glúcidos (**glucólisis**) y las proteínas (**desaminación** y **transaminación**), ocurre en el **hialoplasma**, mientras que para los lípidos (**β-oxidación**), ocurre en la **matriz mitocondrial**.



*Existen dos tipos de catabolismos según sea el aceptor final de electrones:*

- **Fermentación.** Si se degrada a un compuesto todavía orgánico pero más sencillo. En ella tanto el **aceptor final de electrones es un compuestos orgánicos.**
- **Respiración celular.** Si la degradación del compuesto orgánico es hasta  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . El **aceptor final de electrones es una sustancia inorgánica.**
  - **respiración aerobia**, se necesita oxígeno.
  - **respiración anaerobia**, no necesita oxígeno

## 2. CATABOLISMO DE LOS GLÚCIDOS.

Básicamente la degradación total de la glucosa es similar a una combustión:



Esta degradación tiene lugar, fundamentalmente, en dos etapas:

- **Glucólisis**, es anaerobia y se desarrolla en el *hialoplasma*.
- **Respiración celular**, es aerobia y se realiza en las *mitocondrias*

### 2.1. GLUCÓLISIS (Glicólisis)

La **glucólisis** o **vía de Embdem-Meyerhof** es un conjunto de **reacciones anaerobias** que **tienen lugar en el hialoplasma** celular, en la cual **se degrada la glucosa** (6 C: 6 átomos de carbono), transformándola en dos moléculas de **ácido pirúvico** (3 C). La glucólisis es utilizada por casi todas las células como medio para obtener energía (de los azúcares). Cualquiera que sea la fuente de glucosa utilizada, el resultado final será la **obtención de 2 ácido pirúvico, 2 ATP y 2 NADH + 2 H<sup>+</sup>**.

#### a. Etapas de la glucólisis.

**a.1. Etapa de activación.** La glucosa, tras su activación y transformación en otras hexosas, se descompone en dos moléculas de *gliceraldehído-3-fosfato*, es decir, en dos moléculas de tres átomos de carbono. Para ello se necesita la energía aportada por dos moléculas de ATP.



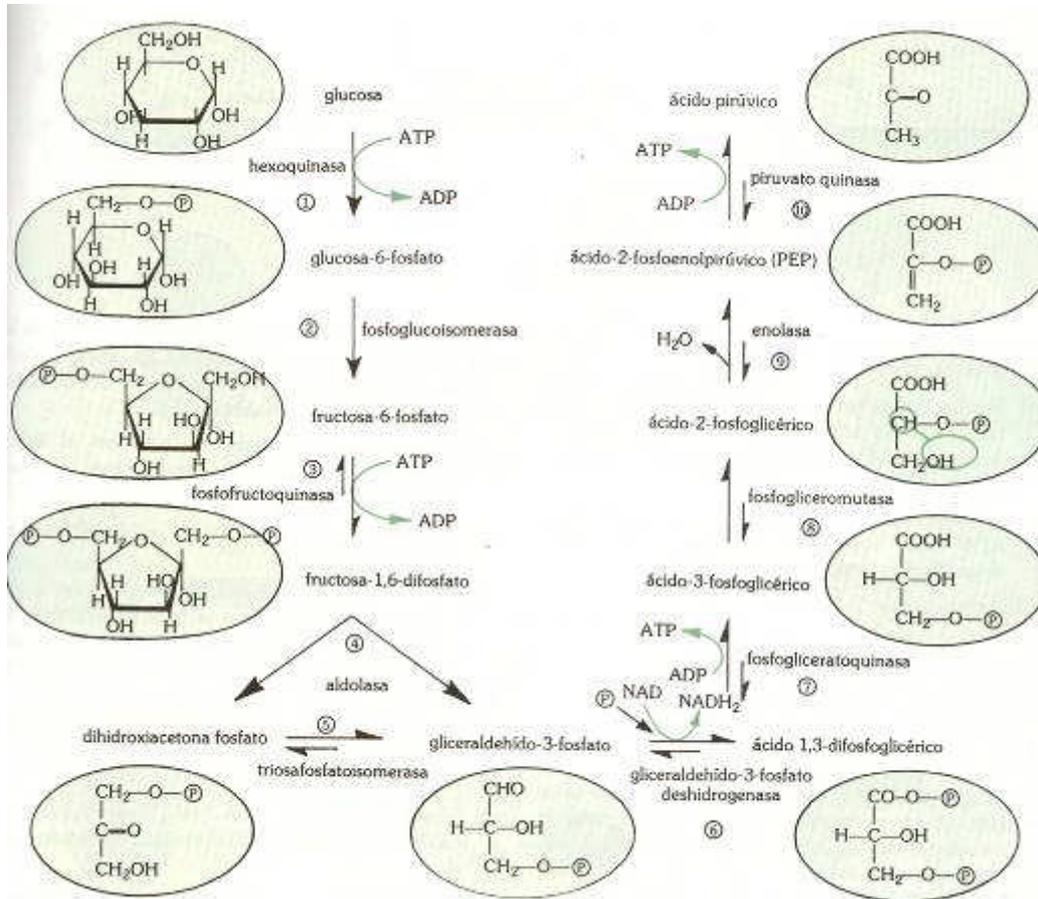
**a.2. Etapa de degradación.** Las dos moléculas de gliceraldehído-3-fosfato se oxidan hasta formar dos moléculas de ácido pirúvico. En esta oxidación se necesita como enzima  $\text{NAD}^+$ , que se reduce a  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . La energía liberada en el proceso es utilizada para fabricar cuatro moléculas de ATP.



## b. La formulación de la reacción global (balance) de la glucólisis.



Por cada molécula de glucosa que ingresa en esta vía se obtiene: 2 moléculas de ácido pirúvico, 2 moléculas de NADH + 2H<sup>+</sup> y 2 moléculas de ATP.



**Fig.-Reacciones de la glucólisis.** Las reacciones anaerobias de la glucólisis se realizan en dos etapas. Primeramente la glucosa es degradada en dos moléculas de gliceraldehído-3-fosfato y se hidrolizan dos moléculas de ATP. Estas dos moléculas de gliceraldehído-3-fosfato son transformadas enseguida en dos moléculas de ácido pirúvico durante una segunda etapa en la que se regeneran cuatro moléculas de ATP.

## VÍAS DEL CATABOLISMO DEL PIRÚVICO

Para evitar que la glucólisis se detenga por un exceso de ácido pirúvico y NADH + H<sup>+</sup> o por falta de NAD<sup>+</sup>, se necesitan otras vías que eliminen los productos obtenidos y recuperen los sustratos imprescindibles. Esto va a poder realizarse de dos maneras:

- En **condiciones anaerobias** (ausencia de oxígeno) lo hace por **fermentación** que tiene lugar en el **hialoplasma**.
- En **condiciones aerobias**, lo hace mediante la **respiración celular** que tiene lugar en las **mitocondrias**.

En un mismo organismo pluricelular pueden darse rutas aeróbicas o anaeróbicas, según las condiciones ambientales de la célula. Por ejemplo, la célula muscular puede funcionar con oxígeno hasta que éste llega con dificultad al tejido. Trabaja entonces en condiciones anaerobias (fermentación) produciendo ácido láctico.

## 2.2. FERMENTACIÓN.

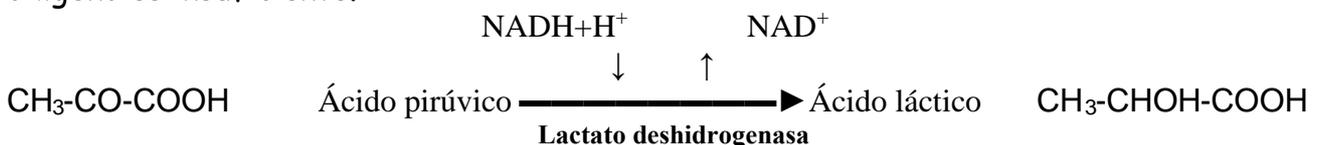
Se llama **fermentación** a un conjunto de rutas metabólicas, que se realizan en el hialoplasma, por las cuales ciertos organismos obtienen energía por la oxidación incompleta de compuestos orgánicos. Los electrones liberados en esta oxidación no son llevados al oxígeno molecular (tal como ocurre en la respiración celular), sino que son aceptados por un compuesto orgánico sencillo que es el producto final de la fermentación. Así, la oxidación de la materia orgánica no es completa (no se transforma totalmente en materia inorgánica) y el rendimiento energético es bajo. El combustible que con más frecuencia se utiliza es algún tipo de azúcar, pero pueden ser utilizados otros compuestos orgánicos en estos procesos.

La fermentación la llevan a cabo diferentes tipos de bacterias capaces de vivir sin oxígeno, pero también se da en células aerobias como las musculares, que la utilizan como mecanismo complementario de la respiración celular al faltar el oxígeno.

### a. Tipos de fermentación:

**a.1. Fermentación anaerobia**, son las más típicas; no requieren oxígeno.

**a.1.1. Fermentación láctica.** En la que el producto final que se obtiene es ácido láctico. La realizan ciertas bacterias como las del género *Lactobacillus* (utilizadas para la obtención de yogur y queso) y las células musculares cuando el aporte de oxígeno es insuficiente.



**a.1.2. Fermentación alcohólica.** En la que se obtiene alcohol etílico. La realizan ciertas levaduras (género *Saccharomyces*) utilizadas para fabricar gran variedad de bebidas alcohólicas (vino, cerveza, etc.) a partir de diversos azúcares (de uva, de cereales, etc).



**a.2. Fermentación oxidativa.** Requieren oxígeno (son aerobias) pero éste no actúa como último aceptor de electrones sino como oxidante del sustrato. La más conocida es la **fermentación acética** (se produce vinagre a partir del vino) y en la cual, el alcohol etílico es oxidado a ácido acético (vinagre).



## 2.3. RESPIRACIÓN CELULAR

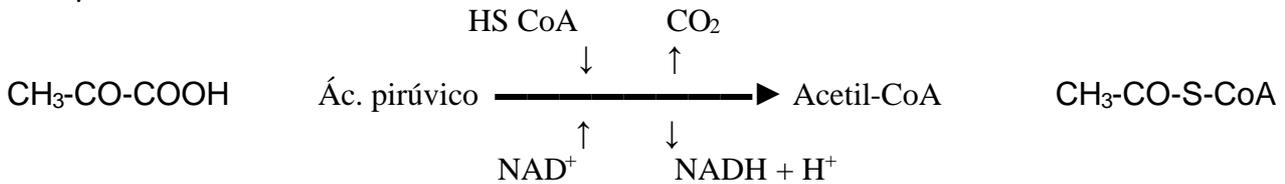
Las células aerobias obtienen la mayor parte de su energía de la **respiración celular**, que supone la oxidación del ácido pirúvico hasta formar  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . La respiración celular se realiza en la **matriz de las mitocondrias** y comprende cuatro etapas distintas:

1. Obtención del acetil CoA.
2. Ciclo de Krebs
3. Cadena transportadora de electrones
4. Fosforilación oxidativa.

### a. Etapas de la respiración celular.

**a.1. Primera etapa: obtención del acetil CoA.** Se obtiene fundamentalmente por dos caminos diferentes:

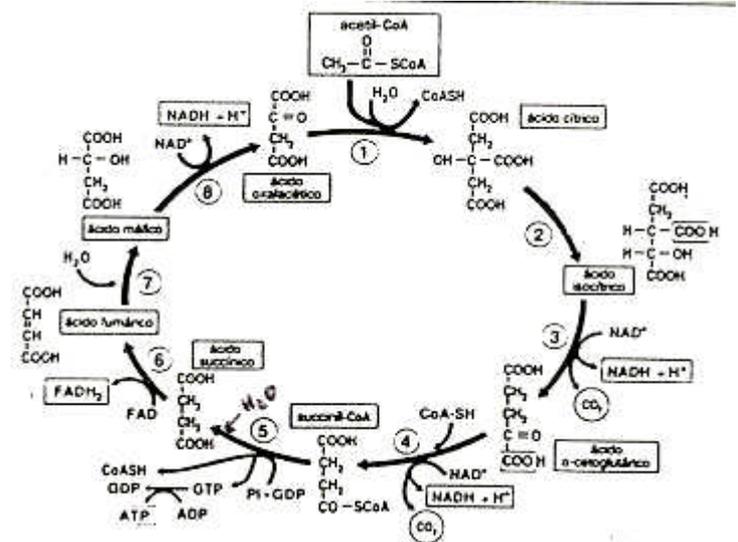
- **A partir del ácido pirúvico.** El ácido pirúvico obtenido en la glucólisis entra en la mitocondria y en presencia del Coenzima A (CoA) sufre una **descarboxilación oxidativa**, obteniéndose Acetil-CoA ( $\text{CH}_3\text{CO-S-CoA}$ ), se desprende  $\text{CO}_2$  y se reduce una molécula de  $\text{NAD}^+$  a  $\text{NADH} + \text{H}^+$ .



- **A partir de ácidos grasos** procedentes de las grasas: los ácidos grasos penetran en la matriz mitocondrial después de ser activados con CoA. Los ácidos grasos activados son transformados en acetil-CoA en una ruta metabólica llamada  $\beta$ -oxidación que puede representarse en forma de hélice (hélice de Lynen). En cada espiral de la hélice se libera una molécula de acetil CoA, se consume una molécula de CoA y se producen dos oxidaciones que utilizan para reducir un FAD y un  $\text{NAD}^+$ .

**a.2. Segunda etapa: ciclo de Krebs.** El ciclo de Krebs, también llamado del **ácido cítrico** o del ácido tricarbóxico, se desarrolla en la matriz mitocondrial.

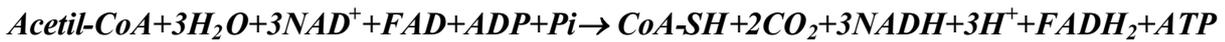
El ciclo empieza con la unión del **acetil-CoA** con una molécula de 4 C (el **ácido oxalacético**), para formar una de 6 Carbonos (**ácido cítrico**), que da nombre al ciclo (que es el que realmente inicia el ciclo



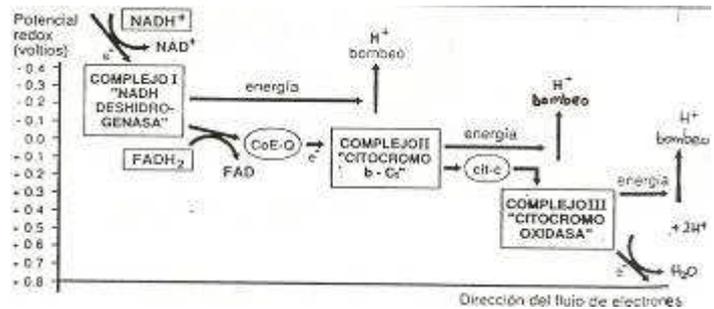
de Krebs). Después, a través de una secuencia de 7 reacciones, se regenera el ácido oxalacético (que puede reanudar el ciclo). Por cada molécula de acetil CoA que entra en el ciclo se producen:

- 2 CoA-SH, (Coenzima A) de las que una vuelve a utilizarse en el ciclo.
- 2 CO<sub>2</sub>
- Una fosforilación que da un GTP transformable en 1 ATP.
- 3 NADH + 3 H<sup>+</sup> y 1 FADH<sub>2</sub>, que pasarán a la cadena de transporte electrónico.

**Balance del Ciclo de Krebs:**



**a.3. Tercera etapa: cadena respiratoria o cadena transportadora de electrones.** Las moléculas que forman esta cadena están situadas en la membrana interna de la mitocondria. La cadena se inicia cuando los NADH (y el FADH<sub>2</sub>) libera H<sup>+</sup> y e<sup>-</sup> para oxidarse y regenerar el NAD<sup>+</sup> y FAD<sup>+</sup>. Los protones quedan en la matriz y los electrones son transferidos al primero de los transportadores que forman la cadena respiratoria. En esta fase los e<sup>-</sup> tienen una alta energía que va disminuyendo conforme van pasando a través de los más de 15 transportadores. Finalmente los e<sup>-</sup> llegan al O<sub>2</sub> (último receptor de los e<sup>-</sup>), que se reduce a H<sub>2</sub>O.



**a.4. Cuarta etapa: fosforilación oxidativa.** Según la hipótesis quimiosmótica, hay pasos en el transporte de electrones en los que se libera suficiente energía para bombear los protones (H<sup>+</sup>) desde la matriz mitocondrial al espacio intermembrana, donde se acumulan. De este modo se produce un gradiente electroquímico que hace que los protones tiendan a volver de nuevo a la matriz a favor de gradiente. Sin embargo, dada la impermeabilidad de la membrana interna, los H<sup>+</sup> sólo pueden atravesarla a través de los complejos enzimáticos (las ATP sintetasas) insertos en ella. Estos complejos utilizan la energía liberada en el paso de H<sup>+</sup> para obtener ATP a partir de ADP + Pi.

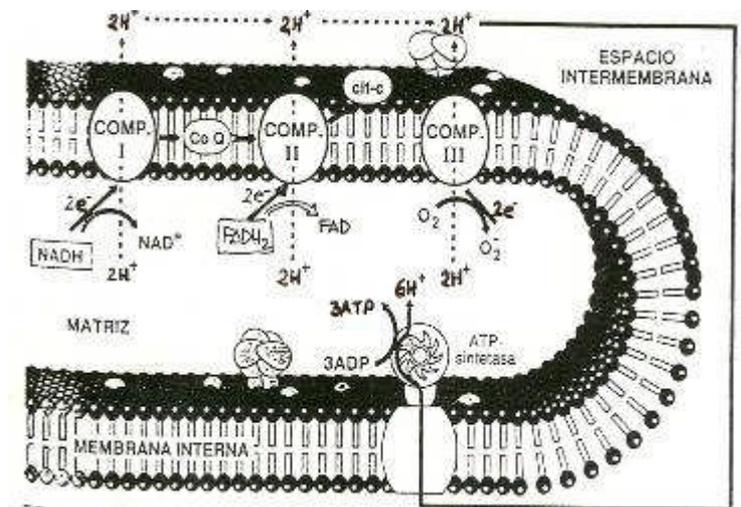


Fig. Transporte de electrones y fosforilación del ADP a partir de NADH

## b. BALANCE ENERGÉTICO DE LA RESPIRACIÓN CELULAR.

El balance energético supone simplemente un recuento de las moléculas de ATP que se forman en el proceso de **degradación de la glucosa a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O**.

Deberemos tener en cuenta, no sólo las moléculas de ATP que se forman directamente en las reacciones de este proceso, sino también las moléculas de NADH y FADH<sub>2</sub>, que al ser oxidadas en la cadena respiratoria dan lugar a **tres** y a **dos** moléculas de ATP, respectivamente.

**Rendimiento de 1 molécula de glucosa en el catabolismo aerobio:**

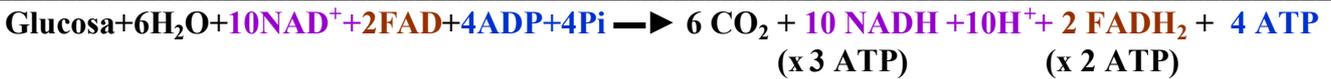
► **1. Glucólisis (De 1 C<sub>6</sub> → 2 C<sub>3</sub>)**



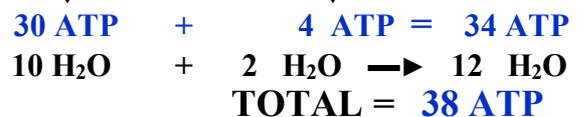
► **2. Del ácido pirúvico al acetil CoA (De 2 C<sub>3</sub> → 2 C<sub>2</sub> + 2 C<sub>1</sub>)**



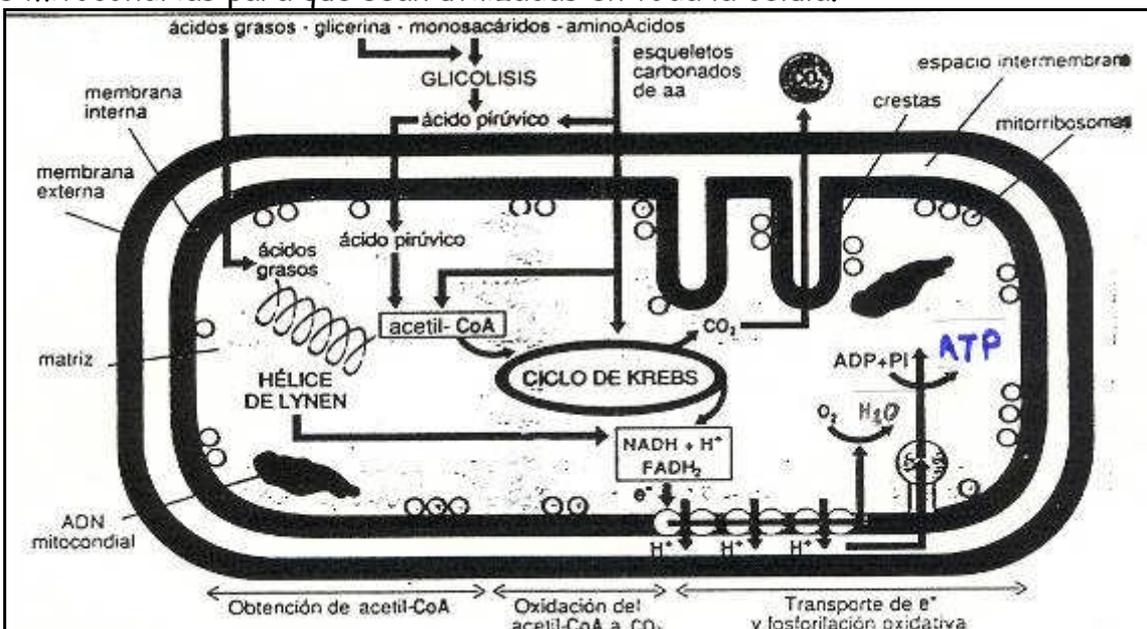
► **3. Ciclo de Krebs. (De 2 C<sub>2</sub> → 4 C<sub>1</sub>)**



► **4. Cadena respiratoria:**



Las moléculas de ATP una vez formadas se exportan a través de las membranas de las mitocondrias para que sean utilizadas en toda la célula.



### 3. CATABOLISMO DE LOS LÍPIDOS.

Los **lípidos** se emplean como sustancias de reserva, pues de su degradación se obtiene más energía que de la degradación de los glúcidos. Más concretamente son los acilglicéridos los que tienen mayor capacidad para producir energía durante el catabolismo.

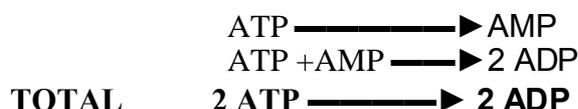
Como recordaras, los acilglicéridos constan de una molécula de glicerina esterificada por uno, dos o tres ácidos grasos. Su catabolismo comienza con la separación de ambos componentes, esta hidrólisis son llevadas a cabo por lipasas (enzimas) que rompen la unión tipo éster y se obtiene glicerina y ácidos grasos.



La glicerina se incorpora a la glucólisis para su degradación y los ácidos grasos penetran en la matriz mitocondrial, tras ser activados con Coenzima A (HS-Co A) en la membrana externa de la mitocondria, con consumo de 1 ATP. La principal vía catabólica de los lípidos es la  **$\beta$ -oxidación** de los ácidos grasos

#### 3.1. $\beta$ -OXIDACIÓN de los ÁC. GRASOS o HÉLICE DE LYNEN.

Los ácidos grasos saturados (sin dobles enlaces) entran en la mitocondria al mismo tiempo que se unen a una molécula de *coenzima A* (HS-Co A), el ácido graso quedará activado, formando un *Acil-Co A*, para ello se requiere la energía de un ATP que pasa, no a ADP, sino a AMP (el desprendimiento de energía es mayor). Por eso, a efectos del rendimiento energético se considera que en este paso **se gastan 2 ATP** uno el que ya vimos, y otro necesario para transformar el AMP en ADP.



Los Acil-CoA obtenidos se transforman en la matriz mitocondrial en Acetil-CoA, mediante un proceso repetitivo consistente en la oxidación del carbono  $\beta$  del acil-CoA. El proceso es parecido a un ciclo, con la diferencia que en vez de llegar al producto de partida, se llega a uno equivalente pero de 2 átomos de carbono menos. Esta degradación de los ácidos grasos de dos en dos átomos de carbono explica que suelen tener un número par de átomos de carbono.

Cada  $\beta$ -oxidación es un proceso con cuatro reacciones sucesivas, de las cuales dos son oxidaciones y utilizan como coenzimas el  $\text{NAD}^+$  y el FAD, respectivamente.

## a. Etapas de la $\beta$ -oxidación.

- ▶ **a.1. Oxidación** por deshidrogenación entre los carbonos  $\alpha$  y  $\beta$ , proceso catalizado por una deshidrogenasa con FAD.
- ▶ **a.2. Hidratación**, con rotura del doble enlace del enol formado.
- ▶ **a.3. Oxidación del grupo alcohol del carbono  $\beta$** , catalizada por una deshidrogenasa con  $\text{NAD}^+$ .
- ▶ **a.4. Rotura del enlace entre los carbonos  $\beta$  y gamma del cetoacil-CoA** por una nueva molécula de CoA. De ese modo se libera un acetil-CoA y queda un resto de ácido graso activado con dos átomos de carbono menos, que reinicia el "ciclo".

En cada vuelta se libera 1 Acetil-CoA, que se incorpora al **Ciclo de Krebs**, 1  $\text{NADH} + 1 \text{H}^+$  y 1  $\text{FADH}_2$  que pasan a la **cadena de transporte de electrones**. Este falso ciclo, por ello llamado **Hélice de Lypen** se repite hasta que se trocea completamente el ácido graso en fragmentos de 2 Carbonos (Acetil-CoA).

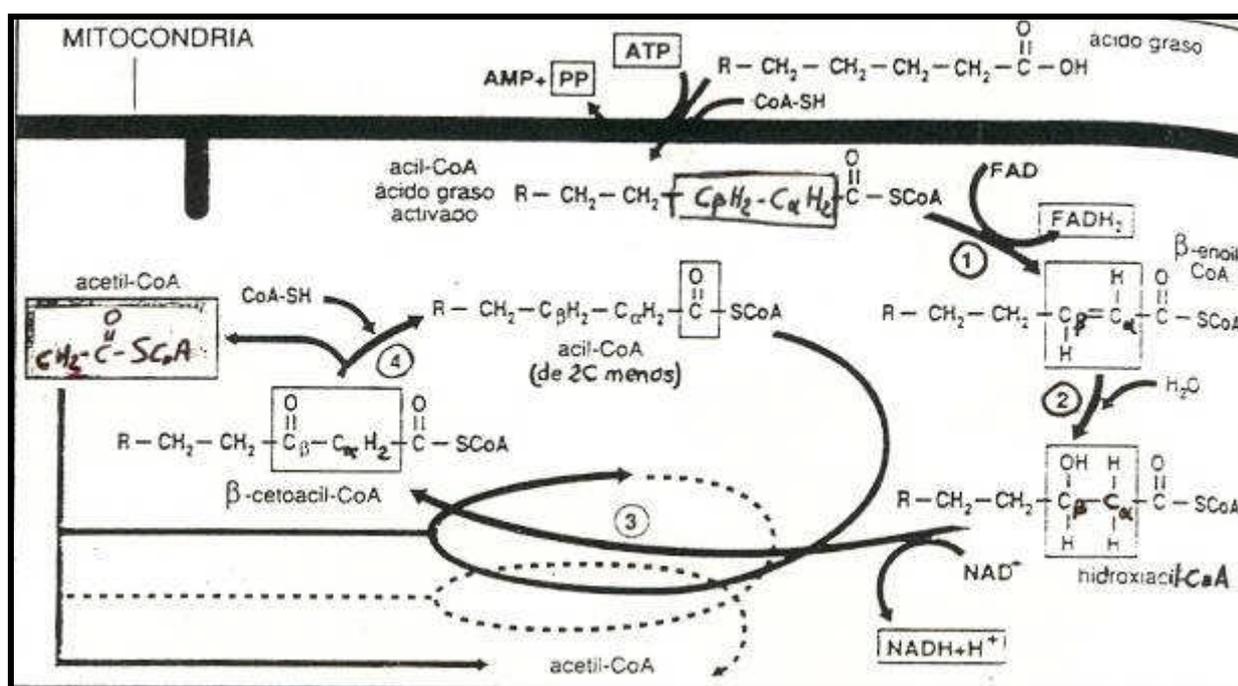


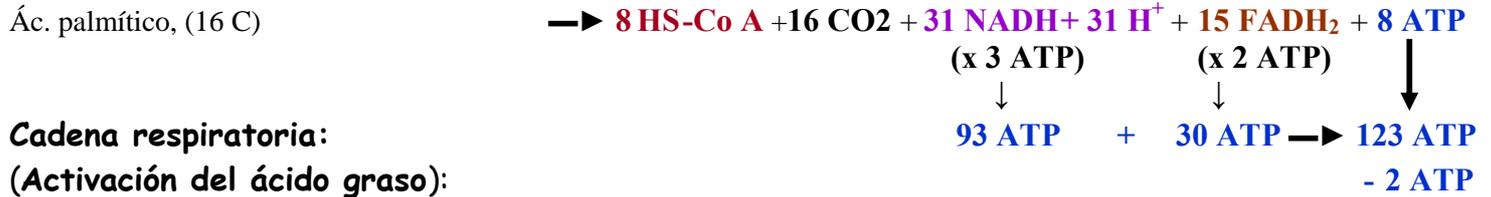
Fig.7.-  $\beta$ -oxidación de los ácidos grasos saturados.

La hélice de Lypen cuando sólo quedan cuatro átomos de carbono, da la última vuelta, puesto que se producen 2 Acetil-Co A. Por tanto, un ácido graso sufrirá tantas vueltas como la mitad menos uno del número de átomos de carbono tenga.

Por ejemplo: el ácido palmítico tiene 16 átomos de carbono, por lo tanto dará 7 vueltas  $\equiv [(16/2)-1] = 8 - 1 = 7$  vueltas  $\rightarrow 8$  acetil-Co A + 7  $\text{NADH} + 7 \text{H}^+ + 7 \text{FADH}_2$



### 3.2. Balance energético del catabolismo de un ácido graso (Por ejemplo el ác. Palmítico):



**TOTAL: 129 ATP**

Al calcular el balance global de la  $\beta$ -oxidación de un ácido graso en concreto, deberás tener en cuenta el número de espiras que tenga la hélice de Lynen (en la última, el "ácido graso activado" resultante debe ser ya un acetil-CoA).

## 4. CATABOLISMO DE LOS PROTIDOS. (AMINOÁCIDOS).

Las proteínas no se usan como fuente de energía, pero los aminoácidos que sobran tras la síntesis de proteínas pasan a ser usados como combustible celular. Estos se separan en grupos *amino* (excretados con la orina) y *cadena carbonada* que se incorporan en diversos momentos del catabolismo y son degradadas hasta  $\text{CO}_2$  en la respiración mitocondrial.

Las reacciones por las cuales se separan los grupos amino de los aminoácidos (AAc) son la **Transaminación** y la **Desaminación**, originando cetoácidos como el pirúvico e intermediarios del ciclo de Krebs.



## 5. PANORÁMICA GENERAL DEL CATABOLISMO

La mayor parte de las cadenas catabólicas se desarrollan en las mitocondrias, por lo que son consideradas los orgánulos respiratorios de la célula.

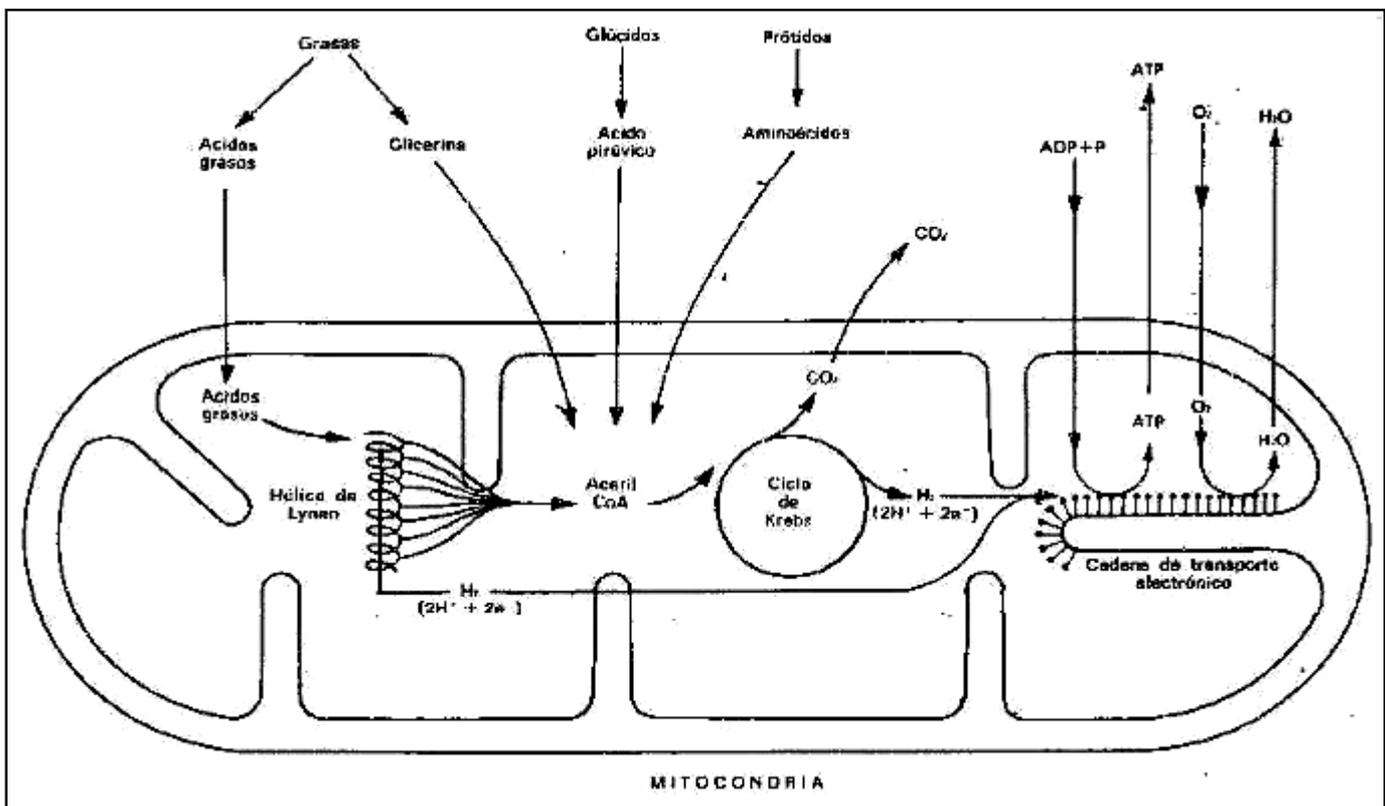
Las distintas moléculas orgánicas, en un principio siguen sus propias rutas catabólicas, pero todas acaban confluyendo en el ciclo de Krebs, de donde se obtienen los productos finales propios de todos los carburantes metabólicos:  $\text{CO}_2$ , protones y electrones, que producirán energía en la cadena transportadora de electrones.

⇒ **Los glúcidos** ingresan en la célula en estado de monosacáridos y en el citosol son sometidos a la **glucólisis**, transformándose en ácido pirúvico, el cual ingresa en la mitocondria para transformarse en **acetil-CoA**

⇒ **Las grasas**, su catabolismo se inicia con su escisión en ácidos grasos y glicerina, lo cual ocurre fuera de las células. Los ácidos grasos son activados en el citosol y penetran en la mitocondria, donde sufren al  $\beta$ -**oxidación** transformándose en acetil-CoA. La glicerina también se transforma en **acetil-CoA**.

⇒ **Los prótidos** entran en la célula descompuestos hasta el estado de aminoácidos, son transformados en cetoácidos por desaminación y penetran en la mitocondria para dar igualmente **acetil-CoA**.

Todos los **acetil-CoA** así obtenidos se incorporan al **ciclo de Krebs** que ocurre en la matriz de las mitocondrias. Por último, los electrones que se obtienen de todos los procesos anteriores y que se encuentran reduciendo a los coenzimas deshidrogenasas (NAD y FAD) van a parar a la **cadena de transporte electrónico**, situada en las crestas mitocondriales, donde son aceptados finalmente por el oxígeno. La energía liberada en esta cadena sirve para sintetizar ATP por **fosforilación oxidativa**.



## Resumen:

### **Glucólisis:**

- **Degradación de los glúcidos** (glucosa) y otros compuestos (glicerina,...).
- Ocurren en el **hialoplasma**.
  - El ácido pirúvico obtenido en la glucólisis puede tomar varias vías:
    - ♦ Vía **anaerobias (Fermentaciones)**. En ausencia de oxígeno los organismos buscan una vía alternativa para obtener energía de la degradación de las biomoléculas.
    - ♦ Vía **aerobia (Respiración)**, en la que ocurre una oxidación escalonada del ácido pirúvico hasta  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , para lo cual es indispensable la presencia de  $\text{O}_2$ .

### **Fermentaciones:**

- Ocurren en el **hialoplasma**.
- Son **anaerobias**.
- Son **energéticamente poco rentables**.
- Son vías **alternativa al catabolismo respiratorio** en ausencia de  $\text{O}_2$ . Consisten fundamentalmente en que algún compuesto (normalmente el propio ác. pirúvico) acepte los  $e^-$  y  $\text{H}^+$  de los coenzimas reducidos producidos en la glucólisis, para que ésta no se bloquee.

### **► Ciclo de Krebs:**

- Ocurre en la **matriz mitocondrial**.
- A él se **incorpora Acetil-CoA**, procedente no sólo del Ác. pirúvico de la Glucólisis, sino de la degradación inicial de otras biomoléculas como lípidos (Ác. grasos) y prótidos (Aminoácidos).
- En él se completa la **oxidación a  $\text{CO}_2$  de los carbonos incorporados**.
- Se **obtiene un GTP** (equivalente a un ATP) como energía química rápidamente disponible.
- El resto de energía obtenida se presenta en forma de **poder reductor** (coenzimas reducidas):  $3\text{NADH}+3\text{H}^+$  y  $1\text{FADH}_2$ , que más tarde será transformado en energía química.

### **► La Cadena transportadora de electrones:**

- Está **localizada en la membrana de las crestas mitocondriales**.
- Consiste en un transporte de electrones desde las coenzimas reducidas,  $\text{NADH}+\text{H}^+$  o  $\text{FADH}_2$ , hasta el oxígeno.
- Esta **cadena de proteínas transportadoras** (pueden captar y ceder  $e^-$ ) actúa por reacciones de oxidoreducción, realizando el transporte desde proteínas de menor afinidad hacia los electrones hacia proteínas de mayor afinidad.
- En el transporte de electrones se liberan protones  $\text{H}^+$  que son bombeados hacia el **espacio intermembrana** (transporte activo).

### **► La Fosforilación oxidativa:**

- Se localiza en las **crestas mitocondriales**, concretamente en las "partículas elementales" (**ATP-sintetasa**).
- Existe un **gradiente electroquímico** debido a que el espacio intermembranas es rico en protones ( $\text{H}^+$ ) y la matriz mitocondrial es pobre.
- La membrana interna es muy impermeable a los protones a excepción de donde está la **ATP sintetasa**.
- Esta ATPasa aprovecha la energía del paso de los  $\text{H}^+$  hacia la matriz, para **fosforilar el ADP que pasa así a ATP**.

### **$\beta$ -oxidación de los Ác. grasos:**

- Ocurre en la **matriz mitocondrial**.
- En ella, los **Ác. grasos se van troceando en fragmentos de 2 carbonos (Acetil-CoA)** mediante la oxidación del carbono  $\beta$  del acil-CoA.
- El proceso es un ciclo imperfecto, llamado por ello "Hélice de Lynen". **En cada vuelta desprende 1 Acetil-CoA, 1FADH<sub>2</sub> y 1 NADH.**
- El acetil-CoA se incorpora al ciclo de Krebs y los coenzimas reducidos a la cadena respiratoria.

## 6. ANABOLISMO.

El anabolismo representa la parte constructiva del metabolismo, consiste en la síntesis de moléculas complejas a partir de otras más sencillas, con el consiguiente gasto de energía, tomada de los ATP producidos durante las fases catabólicas.

Estas moléculas sintetizadas pueden:

- Formar parte de la propia estructura de la célula.
- Ser almacenadas para su posterior utilización como fuente de energía.
- Ser exportadas al exterior de la célula.

Procesos del Anabolismo		
GLÚCIDOS	Ác. Pirúvico	Glucosa ( <b>gluconeogénesis</b> y es casi la inversa de la glucólisis)
	Glucosa	Glucógeno
LÍPIDOS	Acetil-Co A	Ácidos grasos
PROTEÍNAS	Aminoácidos	Proteínas
ÁC. NUCLEICOS	Nucleótidos	ADN ( <b>Replicación</b> )
		ARN ( <b>Transcripción</b> )

El anabolismo representa la *parte constructiva del metabolismo*, en la que el organismo fabrica sus biomoléculas propias. Se distinguen dos tipos principales:

- **anabolismo heterótrofo** consiste en la fabricación de M.O. propia a partir de M.O. capturada de otros seres vivos. Lo llevan a cabo muchos organismos: la mayoría de las bacterias, los hongos, muchos protistas y los animales.

- **anabolismo autótrofo** consiste en la fabricación de M.O. propia a partir de materia inorgánica y una fuente de energía. A su vez presenta dos tipos:

a) **quimiosíntesis** utiliza como fuente de energía ciertas reacciones de óxido-reducción de materia inorgánica. La realizan algunos grupos de bacterias (bacterias del Fe, del H,...).

b) **fotosíntesis** utiliza la luz solar como fuente de energía. También presenta distintos tipos, la *anoxigénica*, que no desprende O<sub>2</sub> (la que realizan las bacterias púrpuras fotosintéticas, en la que el H<sub>2</sub>S cede los e<sup>-</sup> y se desprende S elemental), y la *oxigénica* (que realizan las cianobacterias y los vegetales, en la que el H<sub>2</sub>O cede los e<sup>-</sup> y se desprende O<sub>2</sub>).

### Diferencias metabólicas entre células autótrofas y heterótrofas

En las *células autótrofas* existe una primera parte de su metabolismo autótrofo y una segunda parte que es heterótrofo:

- en el primero se parten de sustancias inorgánicas para obtener sustancias orgánicas sencillas, por ejemplo, glucosa y se utiliza energía libre (luminosa o producida en reacciones químicas).
- en el segundo, en cambio, se parte ya de sustancias orgánicas sencillas, como la glucosa, para obtener otras más complejas como el almidón, y se emplea la energía del ATP.

Las *células heterótrofas* sólo tienen un anabolismo heterótrofo, prácticamente como el de las autótrofas, con la diferencia de que incorporan las moléculas orgánicas del exterior.

El catabolismo se puede considerar idéntico en ambos tipos celulares

## 7. FOTOSÍNTESIS.

La fotosíntesis puede definirse como un proceso anabólico en el que la energía luminosa es transformada en energía química que posteriormente será empleada para la fabricación de sustancias orgánicas a partir de sustancias inorgánicas.

En este tema vamos a referirnos a la **fotosíntesis vegetal**. Los vegetales no sólo realizan la fotosíntesis (en los cloroplastos) sino que los compuestos orgánicos que fabrican, los tienen que catabolizar para extraer energía de ellos cuando la necesitan, es decir, que lo mismo que los animales, deben realizar una respiración y por tanto poseen mitocondrias para catabolizar los compuestos orgánicos

Como podemos ver, la **fotosíntesis y la respiración celular son procesos químicamente opuestos**, siendo sus ecuaciones generales casi idénticas pero invertidas:



FOTOSÍNTESIS	RESPIRACIÓN
Proceso constructivo ( <b>Anabolismo</b> )	Proceso destructivo ( <b>Catabolismo</b> )
Proceso reductor	Proceso oxidativo
Consume energía	Libera energía
Libera O <sub>2</sub>	Consume O <sub>2</sub>
$6 \text{ CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energía luminosa} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energía química}$

### 7.1. Fases y localización.

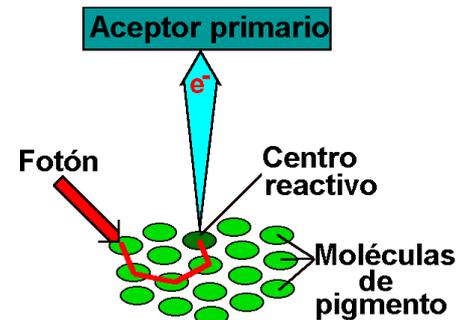
La fotosíntesis se desarrolla en dos fases, **fase luminosa** (que depende de la luz para su realización) y **fase oscura** (que no depende directamente de la luz), la fase oscura, a pesar de su nombre, se realiza también durante el día.

#### 7.1.1. FASE LUMINOSA O FOTOFOSFORILACIÓN.

La fase luminosa o fotoquímica, que depende de la luz para su realización. Tiene por objeto captar la **energía luminosa** y transformarla en **energía química** utilizable (ATP) y poder reductor (NADPH) que se utilizan posteriormente en la fase oscura.

Las células fotosintéticas poseen una serie de pigmentos localizados en los tilacoides. Los más importantes son las **clorofilas**, aunque existe también una cierta cantidad de pigmentos accesorios (carotenos y xantofilas). Estos pigmentos se encuentran en la **membrana tilacoidal** asociados en grupos que constituyen unidades fotosintéticas llamadas **fotosistemas**. Cada uno está compuesto por cientos de

moléculas de clorofila y carotenoides que actúan como **moléculas antena o colectoras** que absorben la luz y la transmiten como en un embudo hacia una molécula de clorofila especializada la "**clorofila a**" (también llamada **Clorofila diana**) que forma el llamado **centro de reacción** que al recibir la excitación por la energía transmitida es capaz de perder un electrón que es enviado hacia la cadena de transportadora de electrones de la membrana tilacoidal. Los electrones perdidos por la clorofila se restituyen posteriormente.



Existen dos fotosistemas, el **fotosistema I (PS I)** su "clorofila a" capta la luz de longitud de onda de 700 nm (nanometros) y el **fotosistema II (PS II)**, cuya "clorofila a" capta la luz de 680 nm.

### a. El proceso se desarrolla del siguiente modo:

**a.1. Captura de energía luminosa.** Cuando una molécula de clorofila recibe luz a una determinada longitud de onda, uno de sus electrones alcanza un estado energético excitado, pero vuelve inmediatamente al estado fundamental emitiendo la energía recibida con una longitud de onda un poco mayor a una clorofila cercana. El paso de la energía luminosa de clorofila en clorofila hace que esta vaya teniendo cada vez mayor longitud de onda hasta que es absorbida por la "clorofila a" del **centro de reacción**, que **pierde un electrón**.

**a.2. Transporte de electrones.** La energía de la luz causa la perder un electrón de la "clorofila a" (de P680) que es parte del **Fotosistema II**, el electrón es transferido al aceptor primario de electrones en un nivel energético superior, y pasa luego a través de una cadena transportadora de electrones (situada en la membrana tilacoidal) cuesta abajo al **Fotosistema I**. La luz actúa sobre la molécula de "clorofila a" (de P700), produciendo que un electrón sea elevado a un potencial más alto. Este electrón es aceptado por un aceptor primario (diferente del asociado al Fotosistema II). El electrón pasa nuevamente a una cadena de transportadores electrónicos y finalmente se combina con  $\text{NADP}^+$ , que toma H del medio, es decir, del estroma y se reduce a  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ .

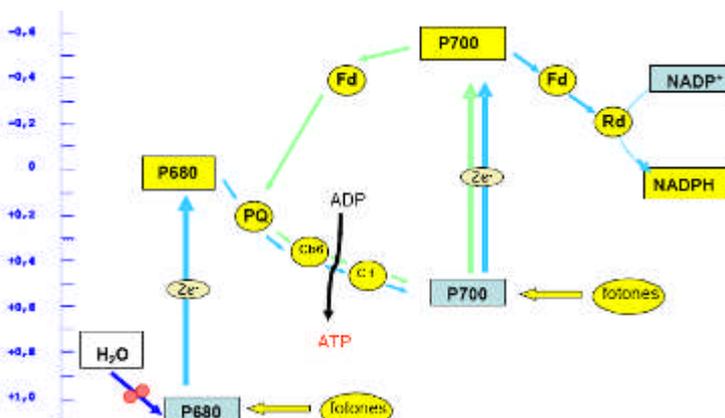
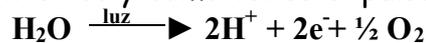
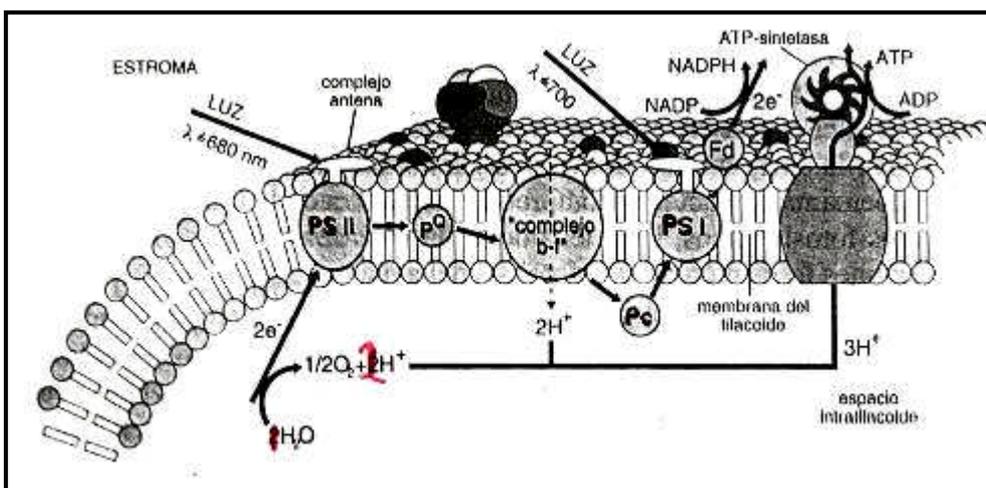


Fig. Los fotosistemas I y II están conectados por una cadena de transporte electrónico. El flujo electrónico acíclico emplea ambos sistemas, los electrones arrancados al agua son empujados a niveles energéticos más altos por la acción de los fotosistemas, lo que permite no sólo la reducción del  $\text{NADP}^+$ , sino el bombeo de protones ( $\text{H}^+$ ), que permitirá la síntesis de ATP por parte de la ATPsintetasa (ATPasa).

**a.3. Fotólisis del agua.** De esta forma la clorofila recupera los electrones perdidos de las moléculas de agua que, al romperse por acción de la luz, liberan protones ( $H^+$ ), electrones ( $e^-$ ) y oxígeno molecular ( $O_2$ ). Este oxígeno es un subproducto del proceso fotosintético y como tal es expulsado al exterior.



**a.4. Fosforilación fotosintética.** Durante el transporte de los electrones se libera energía que se utiliza para bombear protones ( $H^+$ ) del estroma del cloroplasto al interior del tilacoide, creando un potencial electroquímico entre el interior del tilacoide cargado positivamente y el estroma cargado negativamente, los protones tienden a regresar hacia el estroma y lo hacen a nivel de las  $ATP_{asas}$ , enzimas que catalizan la síntesis de ATP partir de  $ADP + Pi$ . Según sea el destino final de los electrones se distinguen dos tipos de fosforilaciones: **cíclica** y **acíclica**.



**Fig.9.-** Disposición de los fotosistemas y complejos transportadores de electrones en la membrana tilacoide. El transporte de electrones libera energía para bombear  $H^+$  al interior del tilacoide. El gradiente creado permite a la ATPasa formar ATP.

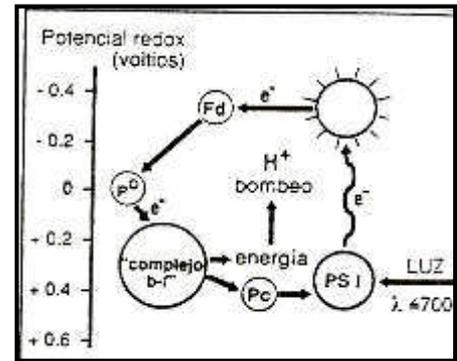
► En la **fotofosforilación acíclica** se emplean los fotosistemas I y II. Cuando se excita el fotosistema I, pierde electrones que circulan a lo largo de la cadena de transportadores electrónicos hasta el  $NADP^+$ , y provoca su reducción ( $NADPH + H^+$ ). El hueco electrónico que queda en el fotosistema I, debe rellenarse con electrones los cuales provienen, en último término del agua, gracias a otra cadena de transportadores electrónicos que se extiende desde el fotosistema II al fotosistema I. **Por cada par de  $e^-$  que atraviesa la cadena de transporte genera 1 ATP y 1  $NADPH + 1 H^+$ .**

► En la **fotofosforilación cíclica**, sólo interviene el PS I, los electrones cedidos por el fotosistema I retornan a través de las proteínas transportadoras. En este retorno se libera energía suficiente para sintetizar **ATP** (No se realiza la fotólisis del agua ni la fotorreducción del  $NADP$ , por tanto no se desprende  $NADPH$  ni  $O_2$ , sólo ATP)

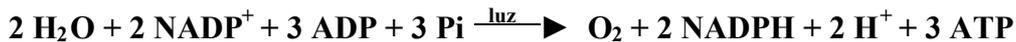
La finalidad de esta variante es ajustar la producción de ATP y  $NADPH$  a las necesidades de la fase oscura. En ella se requieren **3 ATP por cada 2  $NADPH$** . Por tanto, cada vez que ocurran dos fotofosforilaciones acíclicas, tendrá lugar una cíclica.

Al final de la fase lumínica tanto el ATP como el NADPH + H<sup>+</sup> se encuentran en el estroma del cloroplasto. Ambas moléculas serán utilizadas para la reducción del CO<sub>2</sub> en la fase oscura de la fotosíntesis.

**Fig.10.- Fotofosforilación cíclica.** Los electrones son transportados sólo en el PS I, al pasar por el complejo b-f, el bombeo de protones crea el gradiente electroquímico necesario para generar ATP.



**La ecuación global sería:**



### 7.1.2. FASE OSCURA O CICLO DE CALVIN-BENSON.

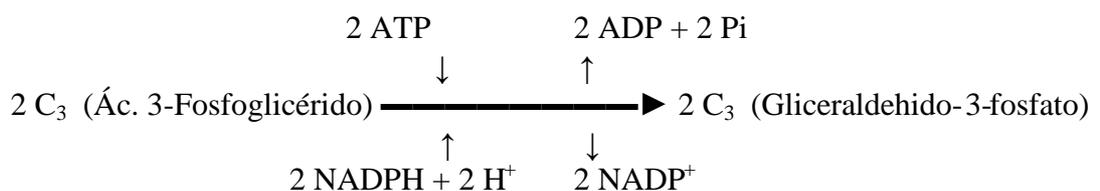
La fase oscura o biosintética agrupa todos los procesos y reacciones de la fotosíntesis que pueden ser llevados a cabo por los cloroplastos sin necesidad de la luz. Tiene lugar en el **estroma de los cloroplastos** mediante una ruta metabólica llamada **Ciclo de Calvin-Benson**. En esta fase se produce la incorporación de la materia inorgánica (CO<sub>2</sub>) a materia orgánica (hexosas y otros hidratos de carbono), a partir de estas primeras sustancias es posible la síntesis de todo tipo de compuestos: aminoácidos, ácidos grasos y glúcidos. Como en todo proceso anabólico se requiere energía (3 ATP) y un potente reductor (2 NADPH) que en este caso proceden de la fase luminosa de la fotosíntesis.

**Podemos considerar tres fases en el proceso oscuro de la fotosíntesis:**

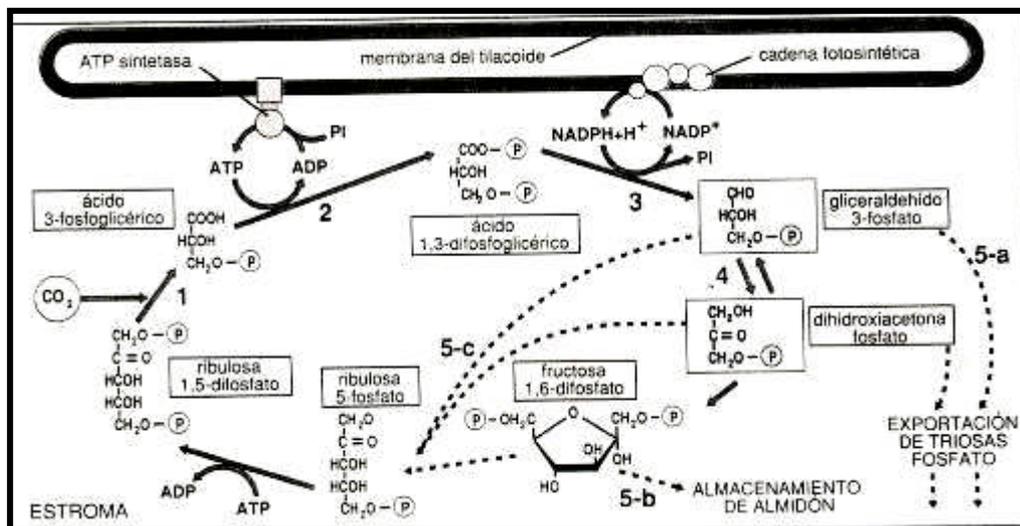
► **Fase de carboxilación o fijación del CO<sub>2</sub>.** El CO<sub>2</sub> se incorpora a una molécula de 5 átomos de carbono (Ribulosa-1,5-difosfato) (5 C), formándose un compuesto de 6 C, que se rompe inmediatamente en 2 moléculas de 3 C (Ác. 3-fosfoglicérico).



► **Fase de reducción.** El Ác. 3-fosfoglicérico (3 C) es reducido ahora por el NADPH + H<sup>+</sup> con gasto de ATP a Gliceraldehido-3-fosfato (3 C).



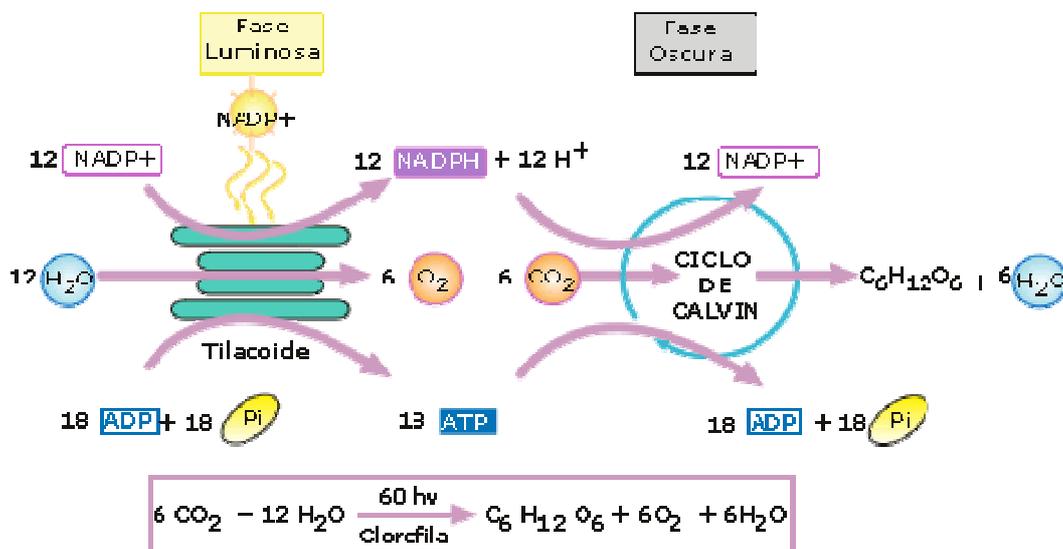
► **Fase de recuperación:** De cada 6 moléculas de Gliceraldehido-3-fosfato (3 C) que se forman, cinco sufren una serie de transformaciones consecutivas en las que también se consume ATP para regenerar la ribulosa 1,5-difosfato (5 C) con la que se cierra el ciclo. **La sexta molécula de 3 C** es extraída del ciclo y exportada al citoplasma donde se utiliza para la síntesis de ácidos grasos, aminoácidos y almidón.



• **Balance energético:** En cada vuelta del ciclo, *por cada molécula de CO<sub>2</sub>* que se incorpora, se consumen **3 ATP y 2 NADPH**, o sea, que para incorporar 6 CO<sub>2</sub> y lograr extraer del ciclo una molécula de glucosa (6C) harán falta **18 ATP y 12 NADPH**.

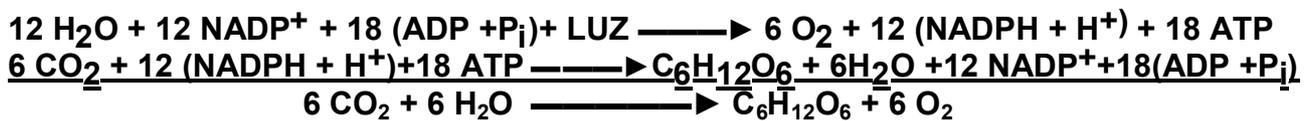


Rendimiento neto del proceso de fotosíntesis para obtener una molécula de glucosa



## Ecuación general de la fotosíntesis.

FASE LUMINOSA DE LA FOTOSÍNTESIS	
<b>MEMBRANA DEL TILACOIDE</b>	<i>oxidación el agua</i> <span style="float: right;"><math>2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- + \text{O}_2</math></span>
	<i>reducción del NADP</i> <span style="float: right;"><math>2 \text{NADP}^+ + 4 \text{e}^- \longrightarrow 2 \text{NADPH} + 2 \text{H}^+</math></span>
	<i>fotofosforilación</i> <span style="float: right;"><math>3 \text{ADP} + 3 \text{Pi} \longrightarrow 3 \text{ATP}</math></span>
	<b>Balance</b> <span style="float: right;"><math>2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{NADP}^+ + 3 \text{ADP} + 3 \text{Pi} \longrightarrow 3 \text{ATP} + \text{O}_2 + 2 \text{NADPH} + 2 \text{H}^+</math></span>
Para obtener una glucosa se multiplica por 6	$12 \text{H}_2\text{O} + 12 \text{NADP}^+ + 18 (\text{ADP} + \text{Pi}) + \text{Luz} \longrightarrow 6 \text{O}_2 + 12 (\text{NADPH} + \text{H}^+) + 18 \text{ATP}$
FASE OSCURA DE LA FOTOSÍNTESIS	
<b>ESTROMA</b>	<i>oxidación del NADPH:</i> <span style="float: right;"><math>2 \text{NADPH} + 2 \text{H}^+ + \text{CO}_2 \longrightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + 2 \text{NADP}^+ + 2 \text{H}_2\text{O}</math></span>
	<i>consumo de ATP:</i> <span style="float: right;"><math>3 \text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3 \text{ADP} + 3 \text{Pi}</math></span>
	<b>Balance:</b> <span style="float: right;"><math>\text{CO}_2 + 2 (\text{NADPH} + \text{H}^+) + 3 \text{ATP} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{NADP}^+ + 3(\text{ADP} + \text{Pi})</math></span>
<b>x 6</b>	$6 \text{CO}_2 + 12 (\text{NADPH} + \text{H}^+) + 18 \text{ATP} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{H}_2\text{O} + 12 \text{NADP}^+ + 18(\text{ADP} + \text{Pi})$



### 7.1.3 Factores que influyen en la fotosíntesis

- **Intensidad luminosa.** La actividad fotosintética aumenta con la intensidad luminosa hasta alcanzar un límite máximo característico de cada especie.

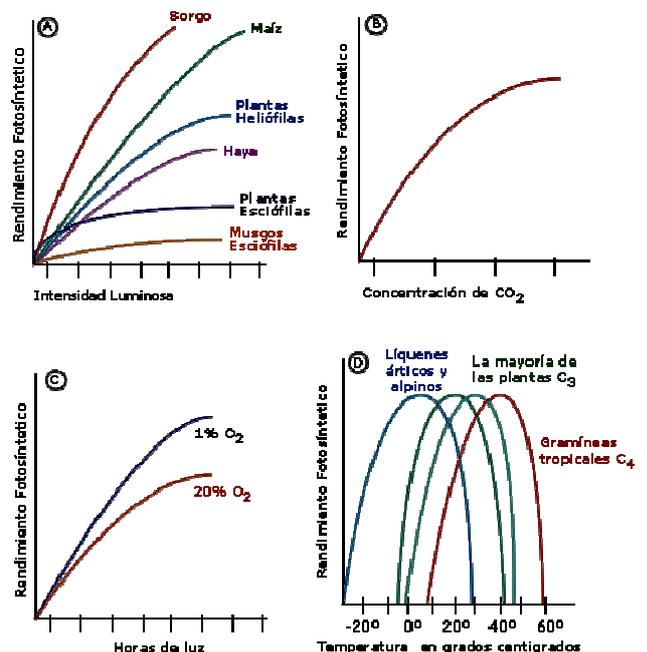
- **Temperatura.** Como norma general, a mayor temperatura, mayor actividad fotosintética, hasta que se llega a un máximo (variable según las especies de climas cálidos, templados o fríos), superado el cual se pueden desnaturalizar algunas enzimas. La temperatura óptima variará de unas especies a otras.

- **Concentración de CO<sub>2</sub>.** A mayor concentración de CO<sub>2</sub> mayor actividad fotosintética, hasta que se llega a un punto en el que se estabiliza.

- **Concentración de O<sub>2</sub>.** Al aumentar la concentración de O<sub>2</sub> baja el rendimiento de la fotosíntesis debido a la fotorrespiración.

- **Fotoperíodo.** El rendimiento está en relación directa a las horas de exposición a la luz que tenga la planta.

- **Humedad ambiental.** Cuando hay escasez de agua, los estomas (aberturas de la epidermis de las zonas verdes de las plantas superiores) se cierran para evitar pérdidas de agua por transpiración, lo cual dificulta el paso de CO<sub>2</sub> y la actividad fotosintética disminuye.



## Resumen:

### *En la fotosíntesis se van a producir los siguientes procesos:*

- Captación por las clorofilas y otros pigmentos fotosintéticos de la **energía luminosa** y su transformación en **energía química** contenida en el ATP.
- **Obtención de electrones a partir del agua**. Estos electrones, convenientemente activados por la energía luminosa, servirán para reducir  $\text{NADP}^+ \rightarrow \text{NADPH} + \text{H}^+$
- Incorporación del carbono del  $\text{CO}_2$  a las cadenas carbonadas. **Se sintetiza materia orgánica** (principalmente glúcidos) a partir de compuestos inorgánicos como el dióxido de carbono, agua y sales minerales (fosfatos, nitratos, sulfatos, etc.).
- Reducción por el  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  del carbono incorporado y síntesis de compuestos orgánicos.
- El  $\text{O}_2$  resultante de la ruptura de las moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  que intervienen en el proceso, **se desprende como producto de desecho** en un volumen igual al  $\text{CO}_2$  reducido.

### *Fase luminosa acíclica:*

- Requiere la presencia de luz.
- Ocurre en la **membrana de los tilacoides**, en los cloroplastos.
- Consta de una **cadena transportadora de electrones** acoplada a la fosforilación de ATP (energía) y a la reducción de NADPH (poder reductor), generando una molécula de cada tipo cada vez que es transitada por un par de  $e^-$ .
- El origen de los electrones transportados es la **fotólisis del agua**, que al descomponerse además **libera  $\text{O}_2$**  como producto residual.
- La energía solar es captada por dos fotosistemas, el PSII y el PSI.

### *Fase luminosa cíclica:*

- Ocurre en las membranas de los tilacoides.
- **Solo genera ATP**, uno por cada vuelta de los  $e^-$ .
- **No produce  $\text{O}_2$  ni NADPH**, ya que no hay ni fotólisis del agua ni fotorreducción.
- **Sólo interviene el PSI**, en la captación de energía, y al ser cíclica, los mismos  $e^-$  que salen de la clorofila vuelven a ella.
- Se produce porque en la fase oscura se necesitan 3 ATP por cada 2 NADPH.

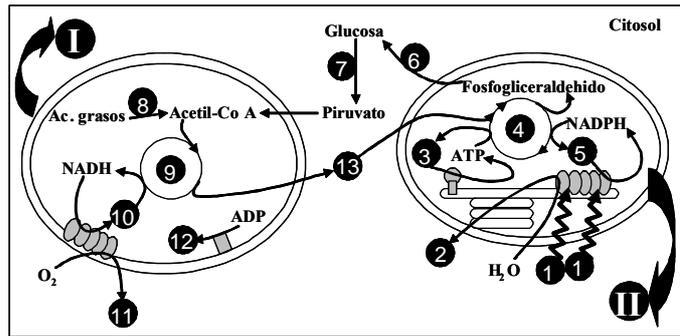
### *La fase oscura o ciclo de Calvin:*

- Ocurre en el **estroma** de los cloroplastos.
- **No requiere la presencia de luz**, puede ocurrir tanto de día como de noche.
- Se incorpora  $\text{CO}_2$  (M.I.) que se fija sobre un compuesto de 5C (**etapa de fijación**).
- A continuación **se emplean el ATP y NADPH obtenidos en la etapa luminosa**, para reducir el carbono fijado (**etapa de reducción**).
- Finalmente se produce una serie de reacciones destinadas a regenerar el compuesto de 5C con el que comienza el ciclo (**etapa de regeneración**).
- En **cada vuelta del ciclo se produce un carbono orgánico** que es utilizado para la síntesis de biomoléculas en el estroma.
- En cada vuelta del ciclo, **por cada molécula de  $\text{CO}_2$**  que se incorpora, se consumen **3 ATP y 2 NADPH**, o sea, para una molécula de glucosa (6C) harán falta **18 ATP y 12 NADPH**.

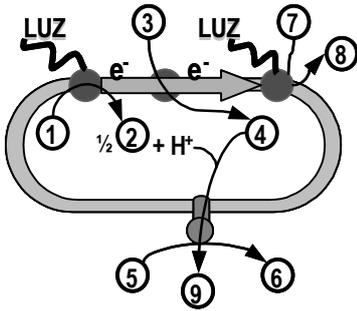
## CUESTIONES:

**Junio 03.** En el esquema se representan una serie de reacciones químicas (metabolismo) que tienen lugar en una célula eucariota.

- Identifica los orgánulos I y II.
- Haz corresponder los números con los siguientes elementos y vías metabólicas: Ciclo de Calvin, Glucólisis, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NAD<sup>+</sup>, ADP, ATP, Fotones, Ciclo de Krebs, síntesis de azúcares, β-oxidación, NADP<sup>+</sup>.



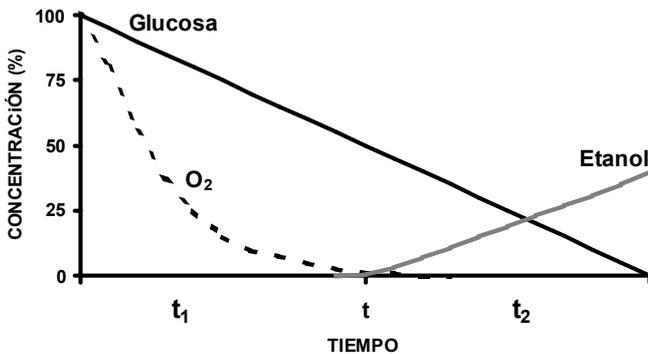
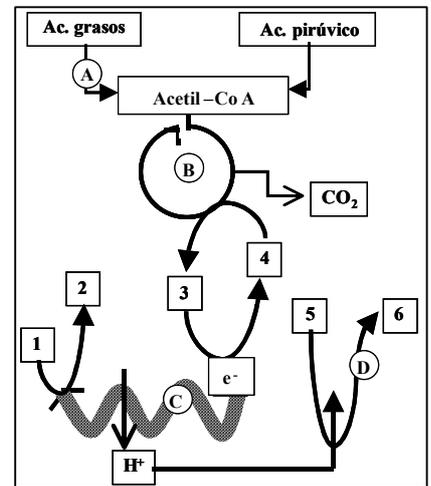
**Sept. 03.** En un recipiente cerrado herméticamente se tiene un cultivo de levaduras que están consumiendo glucosa. Se observa que cuando se agota el oxígeno en el frasco aumenta el consumo de glucosa y comienza a producirse etanol. Explica estos resultados indicando qué vía metabólica estaba funcionando antes y después del consumo total de oxígeno.



**Sept. 03.** La imagen adjunta muestra la fase luminosa o fotodependiente de la fotosíntesis. Haz corresponder los números con los siguientes elementos: ATP, NADP<sup>+</sup>, H<sub>2</sub>O, ADP, NADPH, H<sup>+</sup> y O<sub>2</sub>

**Junio 04** .- El esquema representa una serie de procesos metabólicos que tiene lugar en el interior de la célula.

- ¿Cómo se denominan las vías indicadas en los círculos como A, B, C y D?
- Haz corresponder los números con: NADH, ATP, ADP+Pi, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NAD.
- ¿En el interior de qué orgánulo tiene lugar?
- ¿Funciona el proceso D en ausencia de oxígeno?

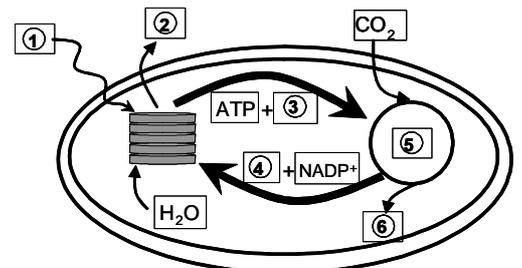
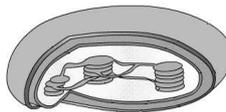


**Sept. 04** La gráfica adjunta corresponde a las concentraciones de glucosa, etanol y O<sub>2</sub> registradas en el interior de una célula a lo largo del tiempo.

- Indica qué proceso metabólico se está produciendo en los tiempos t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>
- ¿Qué orgánulo celular interviene en el proceso del tiempo t<sub>1</sub>?
- ¿En qué lugar celular se produce el proceso del tiempo t<sub>2</sub>?

**Sep 04** El dibujo corresponde a un orgánulo celular donde se realiza un proceso metabólico muy importante para la vida en la tierra.

- ¿Cómo se llama el orgánulo?
- ¿Qué proceso metabólico se realiza en su interior?
- Indica las dos fases en las que se divide el proceso.
- Completa el esquema sustituyendo los números por el nombre que corresponda.

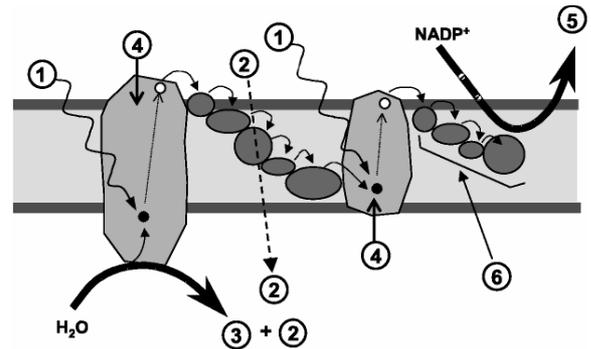


**Junio 05** La respiración es un proceso universal de todos los seres vivos.

- Define el concepto de respiración celular.
- Orgánulo implicado en dicho proceso.
- ¿Dónde se lleva a cabo y cual es la función de la beta oxidación?
- ¿Dónde se lleva a cabo y cuál es la función del Ciclo de Krebs?

**Junio 05 El metabolismo celular es el conjunto de todas las reacciones químicas que suceden en la célula.**

- Define catabolismo y anabolismo.
- ¿De qué fuente procede en último término la energía del metabolismo en plantas y en animales?
- ¿Qué funciones tienen las moléculas de ATP en el metabolismo?
- ¿Qué funciones tienen las moléculas de NAD<sup>+</sup> en el metabolismo?

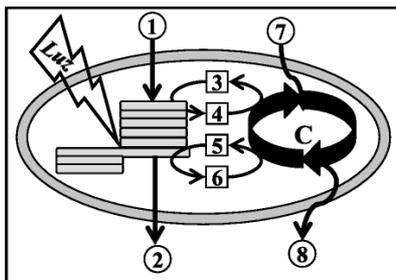
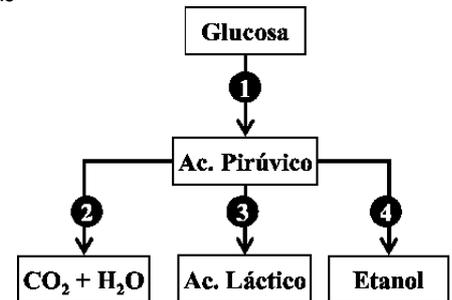


**Junio 05 La fotosíntesis es una ruta metabólica característica de los vegetales.**

- ¿Qué parte de la fotosíntesis representa el dibujo?
- Sustituye los números de la figura por alguno de los términos siguientes: NADPH, fotosistema, protón (H<sup>+</sup>), luz (fotón), CO<sub>2</sub>, NADPH, cadena transportadora de electrones, oxígeno (O<sub>2</sub>), síntesis de ATP.
- ¿En qué orgánulo se realiza este proceso?
- ¿Cuál es la función global del proceso representado en la figura?

**Sept. 05 En el esquema adjunto se indican cuatro procesos bioquímicos importantes de las células eucarióticas**

- ¿Cómo se denominan los procesos numerados del 1 al 4?
- Indicar si son procesos anabólicos o catabólicos
- ¿En qué lugar celular se desarrolla cada uno de estos procesos?
- En ciertas condiciones, determinadas células humanas llevan a cabo el proceso n°3. ¿En qué condiciones se produce el proceso?



**Sept. 05 El esquema adjunto representa un proceso que se realiza en un orgánulo de un tipo de célula.**

- Asigna a cada casilla numerada por lo que corresponda: biomolécula de 3 átomos de carbono, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, ADP+P<sub>i</sub>, NADPH+H<sup>+</sup>, ATP, NADP<sup>+</sup>.
- ¿Qué ciclo simboliza la letra C del esquema?
- ¿En qué orgánulo se produce el proceso?

**Junio 06 Todos los organismos vivos llevan a cabo numerosas reacciones químicas en el interior de sus células, en una serie de procesos conocido conjuntamente como metabolismo.**

- Dentro del metabolismo celular, algunas reacciones consumen energía, mientras que otras la liberan. Según este criterio, ¿cómo clasificarías las reacciones metabólicas?
- Copia la siguiente tabla y completa las casillas en blanco

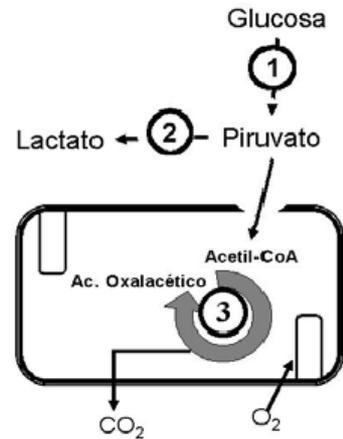
Proceso	Compuestos iniciales	Compuestos finales
Glucólisis	Glucosa	
		Acetil-CoA, NADH+H <sup>+</sup> y FADH <sub>2</sub>
	Ácido Pirúvico y NADH+H <sup>+</sup>	Ácido láctico y NAD <sup>+</sup>
Fosforilación Oxidativa		CO <sub>2</sub> , NADH+H <sup>+</sup> , FADH <sub>2</sub> y GTP

**Sept. 06 En el interior de las células tienen lugar ciertos procesos que se llevan a cabo en los distintos orgánulos y estructuras citoplasmáticas. Copia la Tabla adjunta en tu examen y responde:**

- ¿En que estructuras u orgánulos celulares se localizan los procesos?
- Indica con un Si o un No cual de estos procesos se dan en las células animales y cual en las vegetales.

	Proceso	Estructura / orgánulo	Célula	
			Animal	Vegetal
1	Glucólisis			
2	Ciclo de Krebs			
3	Fotofosforilación			
4	Fosforilación oxidativa			
5	Fijación de CO <sub>2</sub>			
6	Degradación de lípidos			
7	Síntesis de proteínas			
8	Duplicación del DNA			

**Sept. 06** La figura representa una ruta metabólica celular.



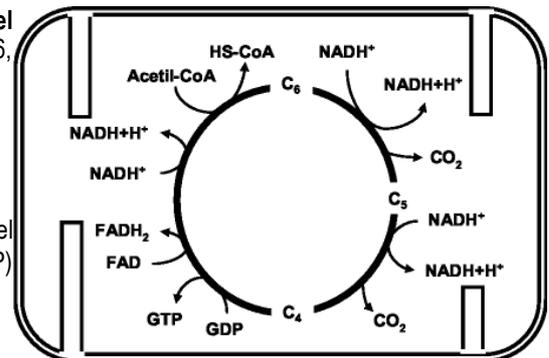
- ¿Qué es el **metabolismo**?
- ¿Qué entiendes por **anabolismo** y **catabolismo**?
- ¿Cómo se relacionan el anabolismo y el catabolismo en el funcionamiento de las células?

d.- Asigna los nombres de las rutas metabólicas que aparecen señaladas con números en la figura e indica, si existen, cuáles son los productos inicial y final de cada una de ellas

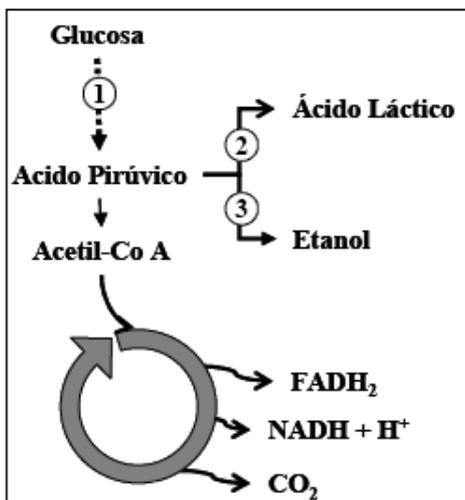
**Sept. 06** La **fotosíntesis** es una ruta metabólica de los vegetales.

- ¿En qué consiste el proceso?
- ¿En qué orgánulo se lleva a cabo?
- Nombra las etapas de que consta dicho proceso.
- ¿Qué se obtiene en cada una de ellas?

**Junio 07** En el esquema adjunto se representa una **ruta central del metabolismo** que tiene lugar en el interior de un típico orgánulo celular. (C<sub>6</sub>, C<sub>5</sub> y C<sub>4</sub> son compuestos de 6, 5 y 4 átomos de carbono, respectivamente).



- ¿En qué orgánulo celular se producen este conjunto de reacciones?
- ¿Qué proceso metabólico se representa?
- ¿De dónde procede el Acetil-CoA que entra en el ciclo?
- Usando tus conocimientos de metabolismo celular, indica cuál es el destino de las diferentes moléculas producidas (NADH+H<sup>+</sup>, FADH<sub>2</sub>, GTP) en el ciclo de la figura

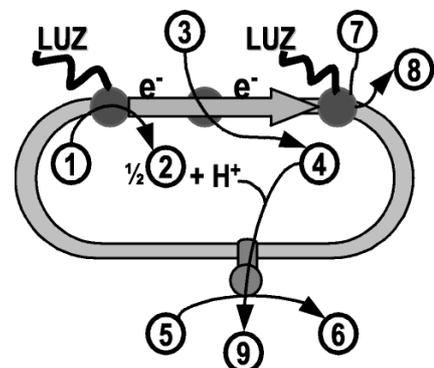


**Sept. 07** Conocemos como metabolismo al conjunto de las reacciones químicas que ocurren en las células. En la imagen adjunta se muestra SÓLO una pequeña parte de estas reacciones

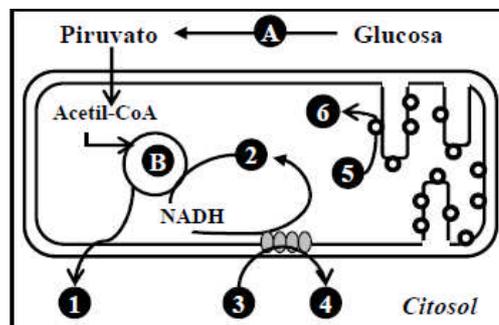
- ¿Cómo se denomina la vía metabólica nº1 que transforma la Glucosa en ac.pirúvico?
- ¿Cómo se denomina las vías que transforman la Glucosa en Láctico (nº 2) o en Etanol (nº 3)?
- ¿Qué procesos metabólicos están implicados en la degradación total aeróbica de la Glucosa? ¿Las vías del esquema forman parte del Anabolismo o del Catabolismo?

**Sept. 07** En el esquema adjunto está representado de forma esquemática un proceso metabólico característico de organismos autótrofos.

- ¿Qué proceso es el que se representa en la figura?
- Haz corresponder los números con los siguientes elementos: ATP, NADP<sup>+</sup>, H<sub>2</sub>O, H<sup>+</sup>, NADPH, ADP y O<sub>2</sub>. Algunos de los elementos les corresponden más de un nº
- ¿En qué orgánulo tiene lugar?
- ¿Cuál es el papel del agua en este proceso?



- Junio 08.-** La figura representa una ruta del metabolismo celular
- Asigna a cada círculo numerado lo que corresponda de: H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, ADP+Pi, NAD<sup>+</sup>, ATP.
  - ¿A qué vía metabólica corresponden las letras A y B?
  - ¿Qué orgánulo celular participa?
  - ¿Esta ruta metabólica se puede producir en una célula vegetal?



**Junio 08.** Ciertas células contienen “orgánulos energéticos” que captan la energía fotónica y fabrican principios inmediatos necesarios para la vida celular.

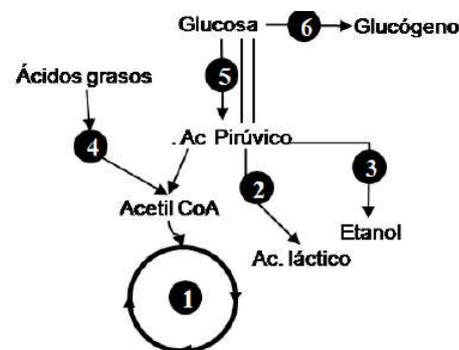
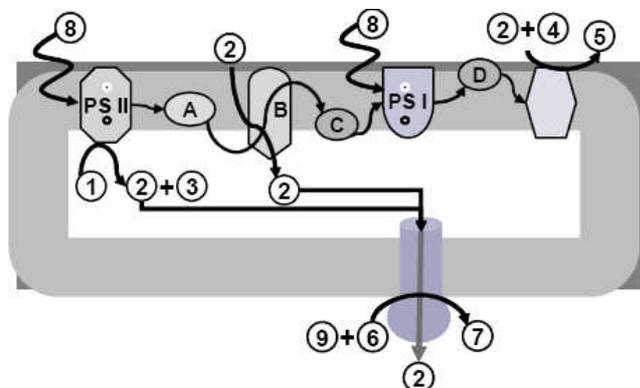
- ¿Mediante qué proceso metabólico?
- ¿Cuál es la molécula captadora de la energía solar?
- De dónde procede la molécula de oxígeno que se desprende durante el proceso?
- El proceso está dividido en dos fases ¿Qué productos obtenidos en la primera fase son utilizados en la segunda?

**Junio 08.-** En el metabolismo tienen un papel central los pares de moléculas NADH/NAD<sup>+</sup> y ATP/ADP

- Indica la función de cada par de moléculas.
- Explica en qué se diferencian el anabolismo y catabolismo.
- Cita un ejemplo de proceso anabólico y otro de proceso catabólico

**Sept 08.-** Una fase del proceso más importante del **metabolismo autótrofo** se esquematiza en la figura adjunta.

- ¿Cuál es el proceso que se representa?
- Especifica en qué parte del orgánulo tiene lugar dicho proceso.
- Relaciona los nº con los siguientes elementos: H<sub>2</sub>O, Pi, Luz, NADPH, ADP, O<sub>2</sub>, H<sup>+</sup>, NADP<sup>+</sup>, ATP
- ¿Qué simboliza el conjunto de moléculas: A, B, C y D?



**Junio 09.-** En el esquema se

representan diversas **rutas metabólicas**.

- Indica qué números del esquema corresponden a las rutas anabólicas y catabólicas de los glúcidos.
- ¿Qué proporcionan las rutas catabólicas y anabólicas al metabolismo celular?
- En ausencia de oxígeno, ¿cómo se cataboliza la glucosa?
- Energéticamente, ¿qué ruta es más rentable para la célula, la que usa oxígeno o aquella en la que puede prescindir del mismo?

**Junio 09.-** Las plantas son seres vivos capaces de captar la **energía fotónica**, y con ella llevar a cabo la **fabricación de compuestos** indispensables para la vida.

- ¿Cuáles son las moléculas presentes en las plantas capaces de captar la energía solar?
- ¿En qué parte del orgánulo están insertadas estas moléculas?
- ¿En qué parte de dicho orgánulo se reduce el CO<sub>2</sub> a azúcares?
- En este proceso se libera oxígeno, ¿de dónde procede?

**Sept 09.** En el dibujo adjunto está representado de forma esquemática un **proceso metabólico** característico de organismos autótrofos.

- ¿Cómo se llama este proceso?
- ¿En qué orgánulo se produce? ¿Qué esquematizan los nº 1 y 2 de la figura?
- ¿Cuál es el papel del agua en este proceso?

