

1.- Metabolismo en mitocondrias.-

En las mitocondrias predominan los procesos catabólicos, siempre ligados a la presencia de O_2 como aceptor final de H^+ y e^- que se han generado en oxidaciones previas, y que en principio están formando parte de coenzimas reducidos ($NADH_2$, $FADH_2$).

Esto no significa que no se den ciertos procesos anabólicos, como por ejemplo la biosíntesis de proteínas mitocondriales, dado que existen ADN mitocondrial y ribosomas propios (*mitorribosomas*).

1.1.- Respiración aerobia de la glucosa.-

La glucosa, carburante esencial en el metabolismo, se caracteriza porque en cualquier organismo es sometida a un proceso inicial de degradación llamado *glucolisis*, lo que sucede en el hialoplasma. El resultado final del proceso es energía (2 ATP) y 2 moléculas de 3 carbonos (Ácido pirúvico). Sin embargo, el destino final de este compuesto es una degradación total a 3 moléculas de CO_2 , es decir, 6 CO_2 por glucosa (los átomos de C. alcanzan su máximo grado de oxidación) que se liberan al exterior.

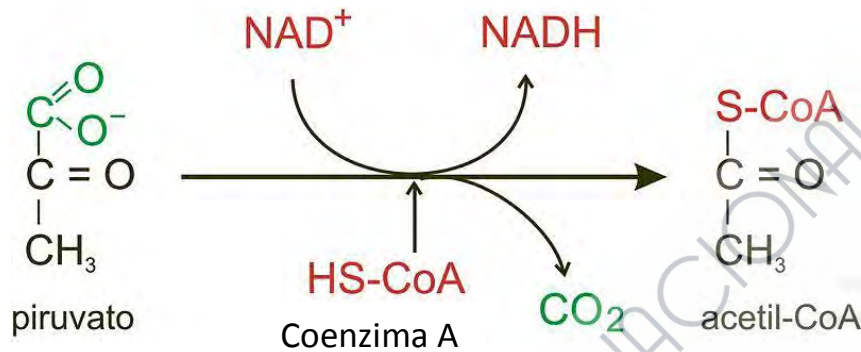
En este recorrido, el O_2 es fundamental como aceptor final, dando finalmente H_2O que también se expulsa. Sin embargo, lo más destacable es que se va a producir un rendimiento energético muy superior al ya registrado en la glucolisis (se obtendrá un rendimiento neto de 38 ATP por cada glucosa).

El proceso de respiración aerobia de la glucosa se desarrolla en 4 fases:

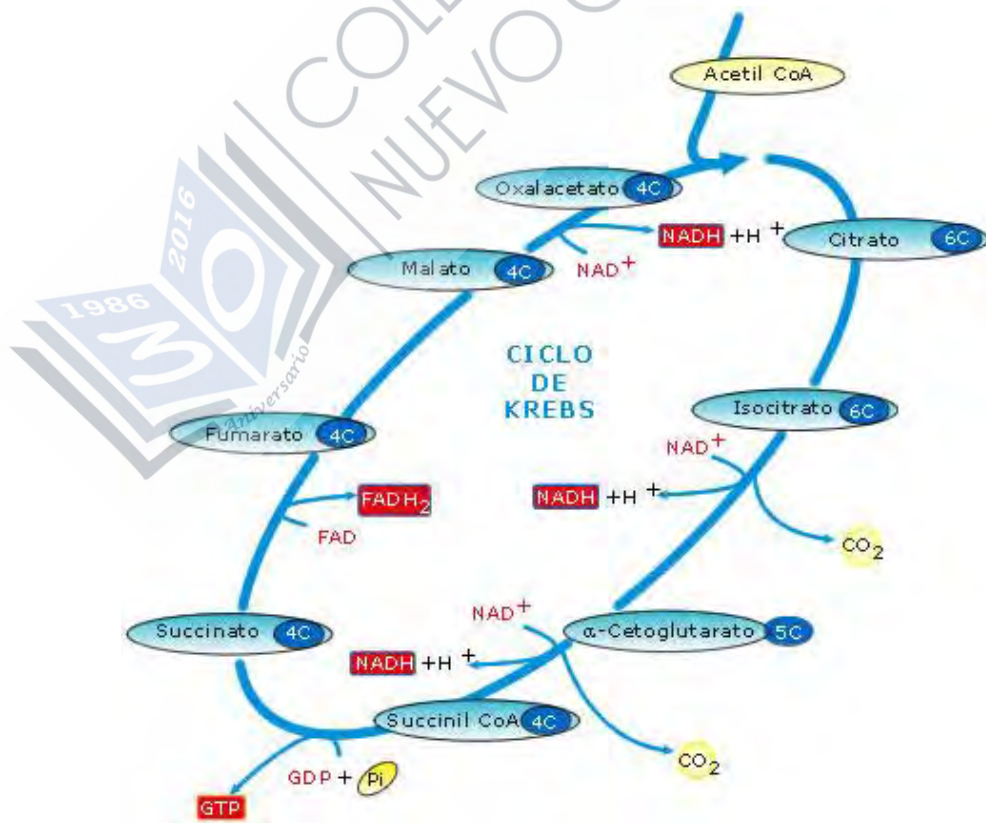
- 1) *Descarboxilación oxidativa* del ácido pirúvico
- 2) *Ciclo de Krebs*
- 3) *Cadena de transporte electrónico*
- 4) *Fosforilación oxidativa*

- a) **Descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico:** (pág 182) Se produce en la matriz mitocondrial. Es una reacción catalizada por la *piruvato-d Descarboxilasa*, cuya coenzima se llama *coenzima A* (*coA~SH*). Esta reacción implica la liberación de una molécula de CO_2 (2 por cada glucosa), la formación de NADH_2 y un producto final de 2 C llamado *acetil-coA*

Producción de poder reductor



- b) **Ciclo de Krebs:** Se activan 2 por cada glucosa. Es un ciclo de reacciones encadenadas (pág 183) que se activa con la presencia de acetil-coA y donde sus 2 átomos de C serán oxidados y liberados en forma de CO_2 . En este ciclo intervienen 8 ácidos carboxílicos y se liberan compuestos que directamente (GTP) o indirectamente (NADH_2 , FADH_2) suponen obtención de energía. El ciclo de Krebs se produce en la matriz mitocondrial.



Se observa que el ciclo de Krebs es una cadena catabólica donde el acetil coA (que también puede proceder del catabolismo de lípidos o de aa) es degradado y oxidado a CO₂ para liberar energía.

Sin embargo, varios componentes del ciclo pueden servir como punto de partida a la síntesis (anabolismo) de otros compuestos metabólicos. Por ejemplo, el *citrato (ácido cítrico)* puede ser utilizado para fabricar AAGG. Por tanto, el ciclo de Krebs es una ruta *anfibólica*, tiene carácter anabólico y catabólico en función de las necesidades del organismo.

Entre todas las reacciones del ciclo destacamos:

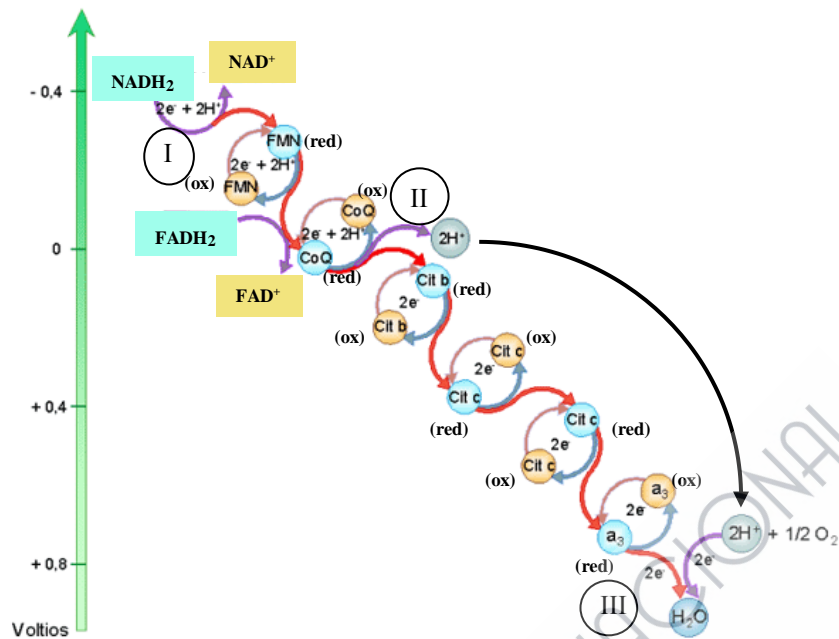
- 2 descarboxilaciones, que implican la liberación de 2 moléculas de CO₂ (4 por cada glucosa)
- 1 fosforilación, que produce GTP, (a efectos energéticos, 1 ATP) (2 por glucosa)
- 4 oxidaciones, 3 de ellas generan NADH₂ y otra genera 1 FADH₂ (en total, 6 NADH₂ y 2 FADH₂ por cada glucosa)

En resumen, una molécula de glucosa ofrece en total (tras el ciclo de Krebs)

POR CADA GLUCOSA			
GLUCOLISIS	DESCARBOXILACIÓN OXIDATIVA DEL ÁCIDO PIRÚVICO	CICLO DE KREBS	TOTALES
2 ATP	-----	2 GTP	4 ATP
2 NADH ₂	2 NADH ₂	6 NADH ₂	10 NADH ₂
-----	-----	2 FADH ₂	2 FADH ₂
-----	2 CO ₂	4 CO ₂	6 CO ₂

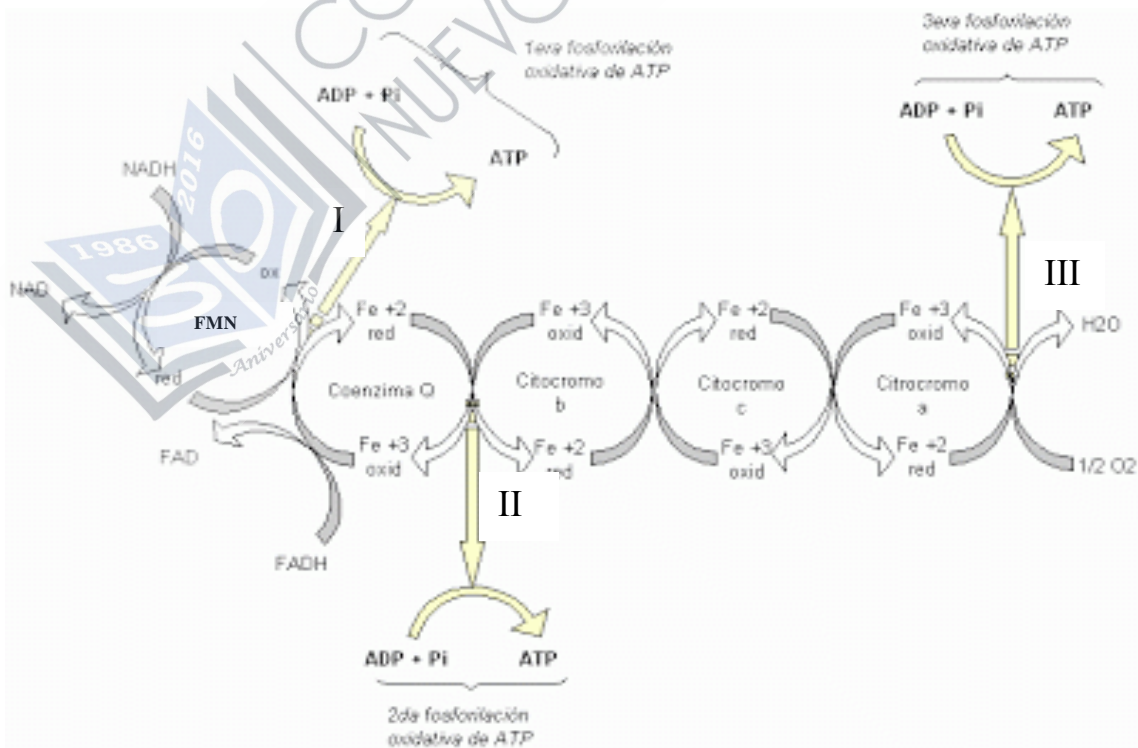
- c) **Cadena de transporte electrónico:** Se produce en las crestas mitocondriales e interviene una serie de transportadores de H⁺ y e⁻ que forman una cadena entre un dador inicial (NADH₂, FADH₂) y un aceptor final que será el O₂

El mecanismo en que se basa esta cadena son las diferencias de *potencial redox* entre los sucesivos transportadores. Si un transportador reducido se reoxida (NADH₂ → NAD⁺) cede sus 2 H⁺ y 2 e⁻ al siguiente transportador (FMN⁺) que se reduce a FMNH₂. En concreto, el NADH₂ presenta un potencial redox mayor que el FMN⁺ y así la cesión de H⁺ y e⁻ se produce *a favor de potencial redox*. Así sucederá con el resto de transportadores hasta el aceptor final, cuyo potencial redox será el más bajo (O₂). Conviene aclarar que los *citocromos* solo transportan e⁻ y de uno en uno, por lo que la cadena requiere 2 citocromos de cada tipo.



d) **Fosforilación oxidativa:** Consiste en la síntesis de ATP a partir de la energía generada en la cadena de oxidaciones o cadena de transporte electrónico. En concreto existen 3 puntos (I, II y III) donde la diferencia de potencial redox es mayor de 300 mV (milivoltios), la suficiente para estimular a los factores *F* de las crestas mitocondriales a la síntesis de una molécula de ATP.

Si observamos la cadena, por cada NADH₂ que incorpora e⁻ se generarán 3 ATP (se desarrolla la cadena completa). Por cada FADH₂, son 2 ATP de rendimiento.



Dada esta situación, el balance energético definitivo que ofrece una molécula de glucosa, desde que se incorpora al hialoplasma (glucolisis) hasta que se oxida completamente en la mitocondria, sería:

	NADH ₂	FADH ₂	ATP
GLUCOLISIS	2	---	2
D.O. ÁC.PIRÚVICO	2	---	---
CICLO KREBS	6	2	2 (GTP)
TOTALES ATP = 38	10 x 3 = 30	2 x 2 = 4	4

Es evidente que el balance de la respiración aerobia (38 ATP) es muy superior al registrado en la respiración anaerobia (2 ATP)

1.2.- Otras reacciones metabólicas en mitocondrias.-

- a) ***β-Oxidación de los AAGG: (Hélice de Lynnen):*** Los AAGG son moléculas largas de cadena par de átomos de C. Su degradación produce moléculas de acetil coA (2 carbonos). Se deduce que de un AAGG concreto se podrán obtener la mitad de acetil coA respecto a su número de C. Por ejemplo, un AAGG de 28 C, puede rendir un total de 14 moléculas de acetil coA.

Como cada uno de ellos activa un ciclo de Krebs y cada ciclo refleja un total de **12 ATP (9 (3 NADH₂), + 2 (1 FADH₂) + 1 (1 GTP))**, el AAGG en cuestión produce un mínimo de 168 ATP

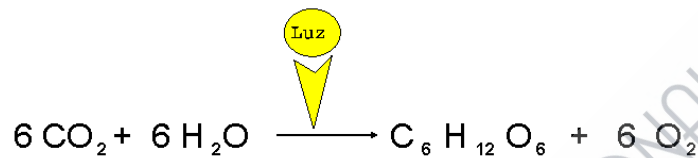
- b) ***Catabolismo de los aa:*** Los aa tienen una función esencial como componentes de las proteínas y en principio su función es construirlas bajo un patrón genético que marca el ADN. Pero en situaciones excepcionales pueden ser oxidados metabólicamente y aportar energía. En este caso, sus átomos de C. se convierten en moléculas de acetil coA para participar en un ciclo de Krebs.

De los 20 aa algunos se transforman directamente en acetil coA (*aa cetogénicos*) y otros precisan convertirse previamente en ácido pirúvico que se descarboxila a acetil coA (*aa glucogénicos*)

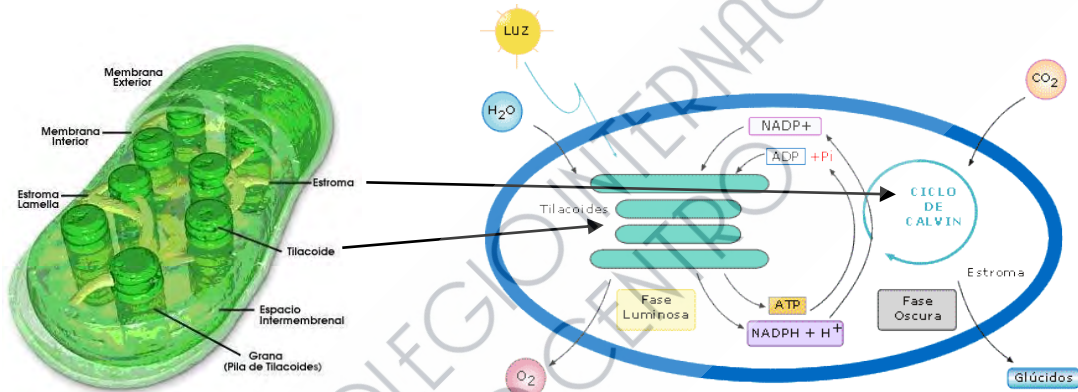
- c) ***Biosíntesis de proteínas mitocondriales:*** Aunque hemos visto que en la mitocondria predominan los procesos catabólicos, también existe un proceso anabólico donde las mitocondrias sintetizan proteínas propias utilizando como código el ADN mitocondrial y sus propios mitorribosomas. Por tanto, ya que es una síntesis, estamos hablando de un proceso anabólico como excepción

2.- Metabolismo en cloroplastos.-

En el cloroplasto van a predominar claramente los procesos anabólicos, constructivos, en los cuales se precisa un aporte de energía que viene del sol. Globalmente se puede decir que la *fotosíntesis* es un proceso anabólico autótrofo que requiere moléculas sencillas inorgánicas para convertirlas en moléculas orgánicas complejas. Esto se debe a la clorofila y a la luz solar, y entre otras consecuencias supone la liberación de O₂ a la Atmósfera.



La fotosíntesis se produce en 2 etapas: la *fase luminosa* y la *fase oscura*.



2.1.- Fase luminosa.-

Llamada así porque se produce en presencia de luz solar a nivel de las membranas *tilacoidales* del cloroplasto. Su objetivo es la obtención de energía en forma de ATP así como contar con un compuesto altamente reductor (NADPH₂) para la fase oscura.

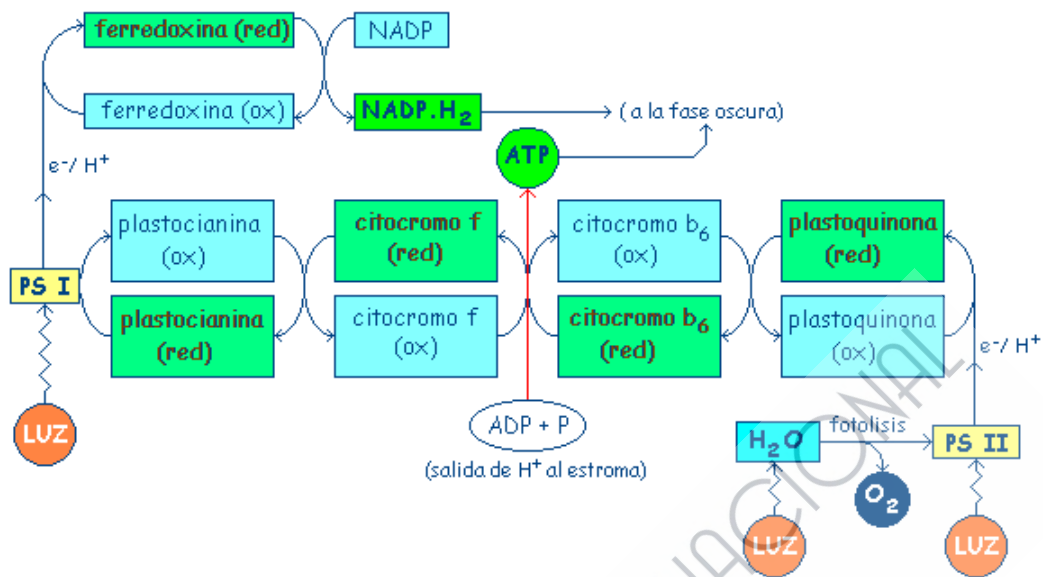
La clorofila se orienta en dirección al sol y capta diferentes radiaciones solares en forma de *fonones* ($h\nu$). Se comporta ante las radiaciones como un *fotosistema* que por cada fotón que recibe, libera un e⁻ de su molécula. De este modo la clorofila queda cargada positivamente y se hace inestable.

Como las radiaciones solares son diversas, inciden a distintas longitudes de onda (λ) de modo que existen 2 tipos de fotosistema:

- *Fotosistema I (PS I)*, que se estimula con radiaciones ≥ 700 nm
- *Fotosistema II (PS II)*, que se estimula con radiaciones ≥ 680 nm

Se deduce que aquellas radiaciones superiores a 700 nm activan a ambos fotosistemas, provocando un rendimiento máximo fotosintético.

Así podemos aplicarlo al siguiente esquema:



Cuando la luz incide sobre el agua, la molécula de H₂O se disocia en 2 H⁺ y 2 e⁻, por una parte y en O₂ que se libera al exterior. Los 2 e⁻ deben neutralizar al PS II ya que éste también por incidencia de la luz desprendió 2 e⁻ de su clorofila. Por su parte, los 2 H⁺ estimulan a los factores F de las membranas tilacoidales a sintetizar ATP (una fosforilación provocada por la luz, o *fotofosforilación*). El proceso de ruptura del agua inicial, se llama *fotolisis* y es catalizado por la enzima *Factor Y*.



Cabe añadir que esta cadena de transporte electrónico (al revés que en mitocondrias) se produce *en contra* de potencial redox, desde el transportador que lo tiene más bajo (*plastoquinona*) al que lo tiene más alto (NADP⁺) y esto requiere aporte energético, que precisamente será la energía luminosa en forma de fotones.

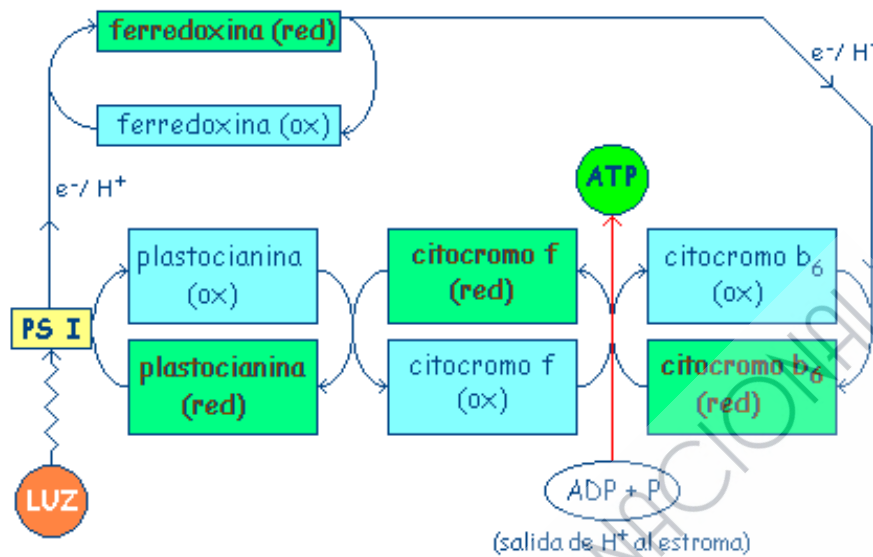
Los 2 e⁻ liberados por el PS II serán los que neutralicen al PS I que a su vez, por incidencia de la luz, liberó también 2 e⁻ de su clorofila. En el transporte electrónico desde el agua al PS I intervienen una serie de transportadores como los *citocromos* o la ya citada *plastoquinona*.

El proceso termina cuando los 2 e⁻ del PS I y los 2 H⁺ procedentes del agua reducen a una coenzima oxidada (NADP⁺) dándose un agente reductor mucho más potente que el agua (NADPH₂).

En definitiva, el objetivo de cara a la fase oscura es contar con energía (ATP) y un reductor fuerte (NADPH₂).

Este modelo afecta a ciertas bacterias y a todas las plantas. Como además se produce una liberación de O₂ al medio, se habla de fotosíntesis *oxigénica*.

En otras bacterias se da un modelo donde no se libera O₂ (fotosíntesis *anoxigénica o cíclica*). Consiste en lo siguiente:



Respecto al modelo de los vegetales, existen varias diferencias:

- No se libera O₂ al medio, ya que no hay fotólisis del H₂O
- Sólo interviene un fotosistema, el PS I
- Sólo participan un H⁺ y un e⁻ de forma cíclica. Esto significa que no se genera NADPH₂, siendo el ATP el único producto final.

2.2.- Fase oscura o asimilación reductora.-

El C, N, y S así como otros elementos en estado oxidado, se van a convertir en compuestos reducidos y energéticos, gracias al ATP y al NADPH₂ obtenidos de la fase luminosa.

El ejemplo más conocido es la *asimilación reductora* del C o *ciclo de Calvin-Benson*, donde el C oxidado (CO₂) se incorpora a la planta y se reduce a compuestos carbonados ricos en energía (glúcidos, AAGG, aa..)

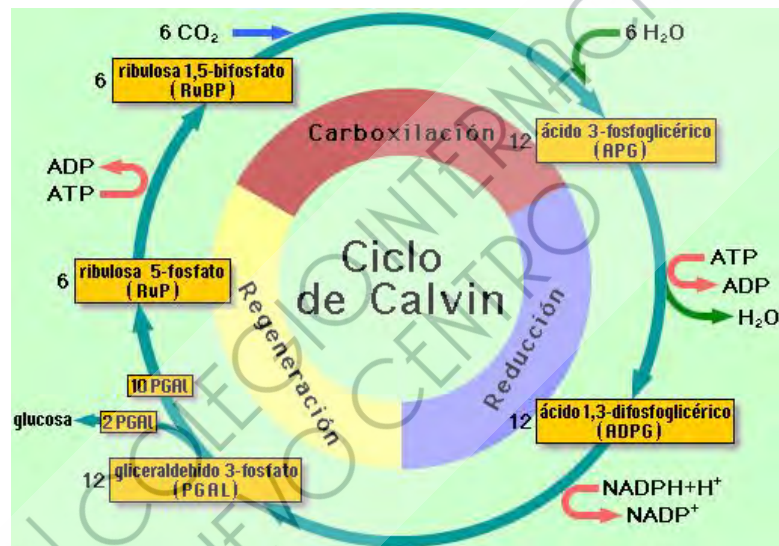
El *ciclo de Calvin-Benson* se desarrolla en 3 fases:

- I. **Carboxilación:** En ella 6 moléculas de C inorgánico en estado oxidado (CO₂) se incorporan al estroma condensándose a un monosacárido presente en los cloroplastos, concretamente a 6 moléculas de *ribulosa 1,5 DP* (difosfato). Esta condensación origina 6 compuestos inestables de 6 C cada uno, que inmediatamente se separan a 12 moléculas de 3 PGA (ácido 3 fosfoglicérico), de 3 C cada una. Esta reacción está catalizada por la enzima *Ribulosa 1,5 DP carboxilasa-oxidasa* o *RuBisCo*)
- II. **Reducción:** Las 12 moléculas de 3 PGA se reducen a 12 moléculas de 3 PGAL. Para ello se utiliza un agente reductor fuerte (NADPH₂) y la energía

(ATP), ambos componentes obtenidos en la fase luminosa. Las 12 moléculas de 3 PGAL siguen 2 destinos diferentes.

III. Recuperación: Las 12 moléculas de 3 PGAL siguen 2 destinos diferentes:

- 2 de ellas (6C) sirven de intermediarios metabólicos necesarios en la síntesis de monosacáridos, aa y AAGG, es decir, los 6 C aportados por el CO_2 , ya son C que forman parte de materia orgánica sintetizada.
- Las 10 moléculas de 3 PGAL restantes, se utilizan para formar 6 moléculas de Ribulosa 1,5 DP, y así se reiniciará un nuevo ciclo.



2.3.- Factores que influyen en la fotosíntesis:

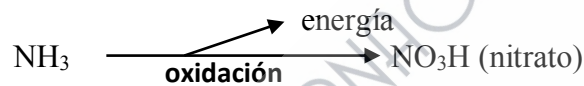
- Intensidad luminosa:** A mayor intensidad, mayor eficacia, pero siempre hasta un límite en el cual la planta está lumínicamente saturada
- Concentración de CO_2 :** A mayor concentración mayor eficacia
- Temperatura:** La temperatura favorece la fotosíntesis hasta un límite concreto, puesto que podrían desnaturalizarse las enzimas fotosintéticas
- Humedad:** A menor humedad, los estomas tienden a cerrarse para evitar pérdidas de agua. Esto disminuye la posibilidad de intercambio de gases, por lo que disminuye la eficacia fotosintética.
- Fotoperiodo:** Consiste en el número de horas de exposición diaria a la luz, por lo que la mayor parte de las plantas aumentan su actividad en días largos (primavera y verano)

- f) **Concentración de O₂:** Si se eleva respecto a la de CO₂ la enzima *RuBisCo* actúa como oxidasa, impidiendo la fijación de CO₂ y activando la oxidación de compuestos carbonados que la planta produce. Este fenómeno se llama *fotorrespiración* y supone una pérdida de eficacia fotosintética.

3.- Quimiosíntesis.-

Es un proceso anabólico autótrofo, donde se sintetiza materia orgánica gracias a la energía desprendida de ciertas reacciones del entorno de los organismos *quimiosintéticos*, que son bacterias anaerobias como las siguientes:

- *Nitrosomonas*: Capaz de reducir el CO₂ con energía procedente de la oxidación del NH₃



- *Nitrobacter*: Utiliza la energía obtenida por oxidación de nitritos a nitratos
- *Sulfobacterias*: Utilizan la energía liberada en oxidaciones de compuestos de S (H₂S)
- *Ferrobacterias*: obtienen la energía por oxidación de compuestos de Fe



CUESTIONES PROPUESTAS SELECTIVIDAD

1.- Mitocondrias:

- a) Ultraestructura
- b) Indicar los procesos metabólicos esenciales que tienen lugar en las distintas partes del orgánulo

2.- Las mitocondrias son unos orgánulos que están presentes en células eucariotas

- a) Haga un esquema o dibujo de una mitocondria y señale sus componentes
- b) Indique la localización en la mitocondria de los siguientes procesos:
 - Cadena de transporte de electrones
 - Ciclo de Krebs
- c) ¿Cómo se llaman los productos del ciclo de Krebs que al oxidarse ceden sus electrones a la cadena de transporte electrónico?

3.- Respecto del catabolismo de un triglicérido en células animales:

- a) Indique las cuatro moléculas que se obtienen de su hidrólisis y la localización celular del proceso
- b) Nombre la ruta metabólica que permite la degradación de las tres moléculas similares obtenidas por hidrólisis y su localización celular a nivel de orgánulo
- c) En la ruta metabólica indicada en el apartado "b", cite qué producto se incorpora al ciclo de Krebs para continuar su degradación y que dos coenzimas reducidas se obtienen

4.- Los ácidos grasos se degradan por la vía metabólica conocida como β -oxidación o hélice de Lynen:

- a) ¿En qué compartimento celular tiene lugar esta vía metabólica en células eucariotas?
- b) ¿Cuál es el producto final de la degradación de los ácidos grasos?
- c) ¿A qué proceso metabólico, orientado a la obtención de energía, se incorpora este producto final?
- d) ¿En qué compartimento celular tiene lugar este último proceso metabólico?

5.- Metabolismo. Explicar el papel de:

- a) La molécula de acetil-co A en el metabolismo aerobio
- b) El ácido pirúvico en el metabolismo anaerobio

6.- Con relación al ciclo de Krebs o ciclo de los ácidos tricarboxílicos:

- a) Indique el compartimento celular en que transcurre y diga si se trata de una ruta anabólica, catabólica o anfibólica
- b) Nombre tres rutas de las que puede proceder el Acetil-co A
- c) Nombre las coenzimas que participan en el ciclo recogiendo el poder reductor e indique si se obtienen oxidados o reducidos

7.- Con relación al tipo de metabolismo que presentan los seres vivos

- a) Explique el significado de: anabolismo y catabolismo
- b) Indique a qué tipo de reacciones, anabólicas o catabólicas, pertenecen las siguientes rutas metabólicas: glucólisis, gluconeogénesis, ciclo de Calvin y β -oxidación de los ácidos grasos.

8.- Relacionado con el ciclo de Krebs para una célula eucariota:

- a) Nombre el compartimento celular en el que transcurre y cite el sustrato que se incorpora al ciclo
- b) Cite el nombre de dos coenzimas que intervienen en dicho ciclo para recoger el poder reductor
- c) Indique una finalidad de dicho ciclo y diga si se trata de una vía aerobia o anaerobia
- d) Nombre dos rutas de las que puede proceder el sustrato que se incorpora al ciclo

9.- En el metabolismo de los seres vivos:

- a) Indique qué es un coenzima y qué papel desempeña
- b) Ponga un ejemplo de un coenzima oxidado e indique una ruta metabólica en la que actúe
- c) Explique qué ocurre con los coenzimas reducidos en la cadena respiratoria

10.- Referente al metabolismo celular:

- a) Las moléculas que se citan a continuación: FAD^+ , NAD^+ , $NADP^+$ y O_2 tienen relación con reacciones de los procesos fotosintético y respiratorio. Indique la relación de cada molécula con cada proceso
- b) Relacione los procesos anteriormente citados (fotosintético y respiratorio) con los dos tipos de metabolismo.

11.- En un laboratorio se está trabajando con plantas utilizando hojas como material de estudio:

- a) Cite el proceso anabólico más característico que tiene lugar en el órgano aludido, mencione las fases del mismo e indique los productos que se originan en cada una de ellas
- b) Realice un esquema rotulado del orgánulo donde se realizan las fases aludidas en el apartado anterior y señale sus componentes

12.- Procesos fundamentales de la fotosíntesis:

- a) De la fase luminosa
- b) De la fase oscura

13.- Fotosíntesis:

- a) Definición
- b) Citar y localizar las diferentes fases de que consta
- c) ¿De dónde procede la molécula de oxígeno que se desprende durante la fotosíntesis?

14.- Fotosíntesis. Fase lumínica:

- a) Concepto
- b) Localización
- c) ¿Cuál es el donador de protones y electrones?
- d) Productos finales de la fase lumínica

15.- Fotosíntesis:

- a) ¿Cómo, cuándo y dónde se produce la descomposición del agua en el proceso de la fotosíntesis?
- b) ¿Cuáles son las consecuencias de la descomposición del agua en la fotosíntesis?

16.- Fotosíntesis. Fase oscura o química:

- a) Concepto
- b) Localización
- c) ¿En qué molécula se fija el CO_2 ? ¿Qué procesos tienen lugar en el ciclo de Calvin?
- d) ¿Es un proceso anabólico o catabólico? Razonar la respuesta

17.- Cloroplasto:

- a) Realizar un esquema
- b) Citar los procesos metabólicos que tienen lugar en dicho orgánulo

18.- Respecto a los cloroplastos y las mitocondrias:

- a) Indicar el nombre que recibe en cada orgánulo, el proceso bioquímico por el cual se consigue ATP
- b) Analogías y diferencias entre dichos procesos
- c) Localización
- d) Diferencias estructurales entre ambos orgánulos

19.- Respecto al ATP:

- a) Indique el grupo de moléculas al que pertenece y cuál es su papel metabólico
- b) Explique las posibles formas de síntesis de ATP
- c) Indique dos rutas metabólicas donde se obtenga ATP

20.- Con relación a la fotosíntesis:

- a) Explique qué es un fotosistema
- b) Indique un organismo que realice la fotosíntesis anoxigénica y otro que la realice oxigénica e indique en qué compartimentos celulares la realiza cada uno
- c) Explique la importancia fisiológica y ecológica de la fotosíntesis oxigénica

21.- Con relación a la fotosíntesis:

- a) Defina los siguientes términos: grana, fotosistema I, estroma y ciclo de Calvin
- b) A qué procesos de la fotosíntesis está asociada la obtención de los siguientes productos: ATP, oxígeno, ribulosa 1-5 difosfato, NADPH

22.- Con relación a la fotosíntesis:

- a) Indique las etapas de la misma y su localización en el orgánulo implicado
- b) ¿Cuál es la diferencia entre la fotofosforilación acíclica y la cíclica? Razone la respuesta
- c) Cite otro orgánulo de la célula vegetal donde se produzca ATP de forma mayoritaria e indique la denominación del proceso

23.- En un cultivo de plantas medicinales, donde la hoja es el principal órgano de utilización en la industria farmacéutica, se observó una importante disminución del contenido en clorofila.

- a) ¿Qué proceso fisiológico se vería afectado de forma directa con la disminución del citado pigmento? Razone la respuesta
- b) Cite las etapas del proceso fisiológico aludido en el apartado anterior e indique la localización a nivel subcelular de cada una de ellas
- c) ¿Cómo podría afectar a nivel ecológico la disminución de clorofila? ¿Y a nivel económico? Razone las respuestas

24.- Con relación a la fuente de energía utilizada por los organismos:

- a) Explique la diferencia fundamental entre un organismo quimioautótrofo (quimiosintético) y otro fotoautótrofo (fotosintético)
- b) Explique la diferencia fundamental entre fotofosforilación y fosforilación oxidativa
- c) Indique el tipo de células y el compartimento celular donde se producen los procesos indicados en el apartado anterior

25.- El ciclo de Calvin:

- a) Indique si se trata de un proceso anabólico o catabólico y su localización a nivel de orgánulo
- b) Señale la molécula que se regenera en el ciclo y el coenzima reducido que se requiere
- c) Indique la molécula que aporta energía al ciclo
- d) Explique cuál es la finalidad de dicho ciclo

26.- Referente al ciclo de Calvin:

- a) Indicar el gasto de NADPH y de ATP en el ciclo de Calvin para sintetizar una molécula de hexosa a partir de CO₂
- b) Indicar el enzima más importante que interviene en el ciclo de Calvin, así como la reacción que cataliza. Etapas del ciclo de Calvin

27.- Indique en cuáles de las siguientes rutas metabólicas se obtiene ATP y en cuáles se gasta ATP:

- a) Fosforilación oxidativa (mitocondrias)
- b) Biosíntesis de ácidos grasos
- c) Fotofosforilación fotosintética
- d) Ciclo de Calvin

28.- Respecto de la quimiosíntesis:

- a) Explique el significado de quimiosíntesis
- b) Indique, razonando la respuesta, si se trata de un proceso anabólico o catabólico
- c) ¿Qué organismos realizan este tipo de metabolismo? Describa la estructura de estos organismos.

