

EL METABOLISMO CELULAR Y LAS ENZIMAS

METABOLISMO: Conjunto de reacciones químicas que se producen en el interior de las células y que conducen a obtener:

- Materia para crecer (renovación de estructuras)
- Energía para llevar a cabo las 3 funciones vitales (nutrición, reproducción y relación).

Además, las células necesitan energía para hacer 6 tipos de cambios o trabajos diferentes:

- | | |
|--|---|
| a) Trabajo eléctrico y crear potenciales de membrana Trabajo de biosíntesis o químico (anabolismo) | d) Trabajo mecánico (movimiento cilios y flagelos, contracción muscular ..) |
| b) Calor | e) Trabajo de concentración: transporte de sustancias a través de las membranas contra gradiente. |
| c) Bioluminescencia | |

Dado que las células realizan el metabolismo por sí mismas, se dice que son autopoiéticas. en sentido amplio se acepta que la digestión de los alimentos, la circulación de nutrientes y el intercambio de gases en el aparato respiratorio puedan ser considerados como un metabolismo extracelular.

En el metabolismo se pueden distinguir dos tipos de vías metabólicas:

- Catabolismo o degradación de materia orgánica. Es la transformación de moléculas complejas en otras más sencillas, proceso en el que se libera energía, que se almacena en los enlaces fosfato de una molécula llamada Adenosin trifosfato (ATP)
- Anabolismo o síntesis de materia orgánica. Es la síntesis de moléculas orgánicas complejas a partir de otras biomoléculas más sencillas, por lo que se necesita suministrar energía, proporcionada por los enlaces fosfato del ATP.

Reacciones anabólicas	Reacciones catabólicas
Son reacciones de degradación.	Son reacciones de síntesis.
Son reacciones de oxidación.	Son reacciones de reducción.
Desprenden energía.	Necessiten energía.
Convergencia de productos: Ácido pirúvico, CO ₂ , H ₂ O, etanol ..	Aparece mucha divergencia en los productos.

ATP, LA MONEDA ENERGÉTICA

La hidrólisis del ATP es muy exotérmica. El adenosín-trifosfato o ATP es un nucleótido muy importante en el metabolismo. Puede actuar como molécula energética, al ser capaz de almacenar o ceder energía gracias a sus dos enlaces éster-fosfórico. Estos enlaces son capaces de almacenar, cada uno de ellos, 7,3 kcal/mol.

La síntesis de ATP se puede hacer de dos maneras:

- **Fosforilación a nivel de sustrato.** Es la síntesis de ATP gracias a la energía que se libera de una biomolécula (sustrato) cuando se rompe alguno de sus enlaces ricos en energía, como ocurre en algunas reacciones de la glicólisis y del ciclo de Krebs. Las enzimas que regulan estos procesos se denominan quinasas.
- Mediante enzimas del grupo de las ATP-sintetasas. Es la síntesis de ATP por medio de unas enzimas especiales llamados ATP-sintetasas que hay en las crestas de las mitocondrias y los tilacoides de los cloroplastos, cuando un flujo de protones atraviesa estos enzims.

ATP o (GTP, UTP, CTP): moneda energética inmediata por ej. Contracción muscular, movimiento celular cilios y flagelos, transporte activo a través de membranas...

Cuando la energía no se necesita inmediatamente, la célula utiliza otros tipos de biomoléculas que son capaces de almacenar más energía por gram. Ex: almidón (4 Kcal/g), glucógeno (4 Kcal/g), triglicérids (9 Kcal / g).

TIPO DE METABOLISMO

EN FUNCIÓN DE LA FUENTE DE CARBONO:

- **Autótrofos:** pueden utilizar en su alimentación formas simples de carbono, como dióxido de carbono, a partir del cual construyen los esqueletos carbonados de todas sus moléculas orgánicas, con lo cual, son relativamente autosuficientes. Las células fotosintéticas y algunas bacterias son autótrofas.
- **Heterótrofos:** los organismos heterótrofos, que no son capaces de utilizar formas simples de carbono, sino que requieren formas más complejas, moléculas orgánicas como la glucosa, que consiguen consumiendo organismos autótrofos u otros organismos heterótrofos. Las células de animales superiores y la mayor parte de los microorganismos son heterótrofos.

Los heterótrofos pueden dividirse en dos clases principales; los aerobios, que utilizan el oxígeno molecular como último aceptor de electrones de sus dadores electrónicos orgánicos, y los anaerobios, que utilizan como aceptor electrónico alguna molécula en lugar del oxígeno.

EN FUNCIÓN DE LA FUENTE DE ENERGÍA:

Existe un segundo criterio para clasificar las células de los organismos en función de la naturaleza de la fuente de energía:

- **Fotótrofos:** la mayoría de los organismos autótrofos obtienen su energía de la luz solar, de ahí el nombre de fotótrofos. Utilizan la energía de la luz para convertir el CO₂ en otras moléculas más complejas mediante la fotosíntesis.
- **Quimiótrofo:** los heterótrofos no pueden utilizar la luz, y la mayoría obtienen su energía de procesos de oxidación-reducción de productos químicos concretos. Este grupo puede

subdividirse según la naturaleza de los productos químicos utilizados: quimioorganótrofs y quimiolitótrofos.

TIPO DE CATABOLISMO

		Fuente de Carbono	
		AUTÓTROFOS Moléculas inorgánicas (Litótrofo). CO ₂ por ej.	HETERÓTROFOS Moléculas orgánicas (Organótrofo)
Fuente de Energía	QUIMIOSINTÉTICOS Sustrato oxidable (Quimiosíntesis) (Quimiotrofos)	QUIMIOLITÓTROFOS Bacterias incoloras del azufre, bacterias nitrificantes, bacterias del hidrógeno, bacterias del hierro	QUIMIOORGANÓTROFOS O QUIMIOHETERÓTROFOS <i>Animales, los protozoos, los hongos y la mayoría de las bacterias</i>
	FOTOSINTÉTICOS Luz solar (Fotosíntesis) (Fototrofos)	FOTOLITÓTROFOS <i>Vegetales superiores, las algas, las cianobacterias, las bacterias púrpúreas del azufre y las bacterias verdes del azufre</i>	FOTOORGANÓTROFOS O FOTOHETERÓTROFOS Bacterias púrpúreas no sulfúreas

Según intervenga o no la cadena de transporte de electrones, hay dos tipos de catabolismo:

1. **RESPIRACIÓN:** En la respiración interviene la cadena de transporte de electrones. Esto permite transferir electrones de la molécula orgánica inicial a un aceptor final que es un compuesto inorgánico.

Aeróbica → Si el aceptor final es el oxígeno.

Anaeróbica → Si el aceptor final no es el oxígeno sino un ión.

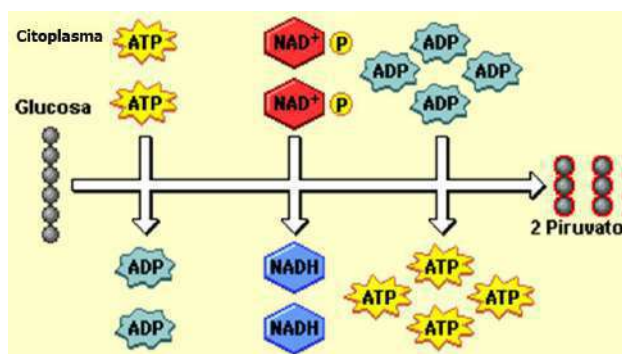
2. **FERMENTACIÓN:** En la fermentación no interviene la cadena de transporte de electrones. Debido a esto, al final siempre queda un compuesto orgánico.

EL CATABOLISMO RESPIRATORIO: LOS GLÚCIDOS

La glucosa es el monosacárido más abundante. Se obtiene de la digestión de los polisacáridos y de las reservas de glucógeno y almidón.

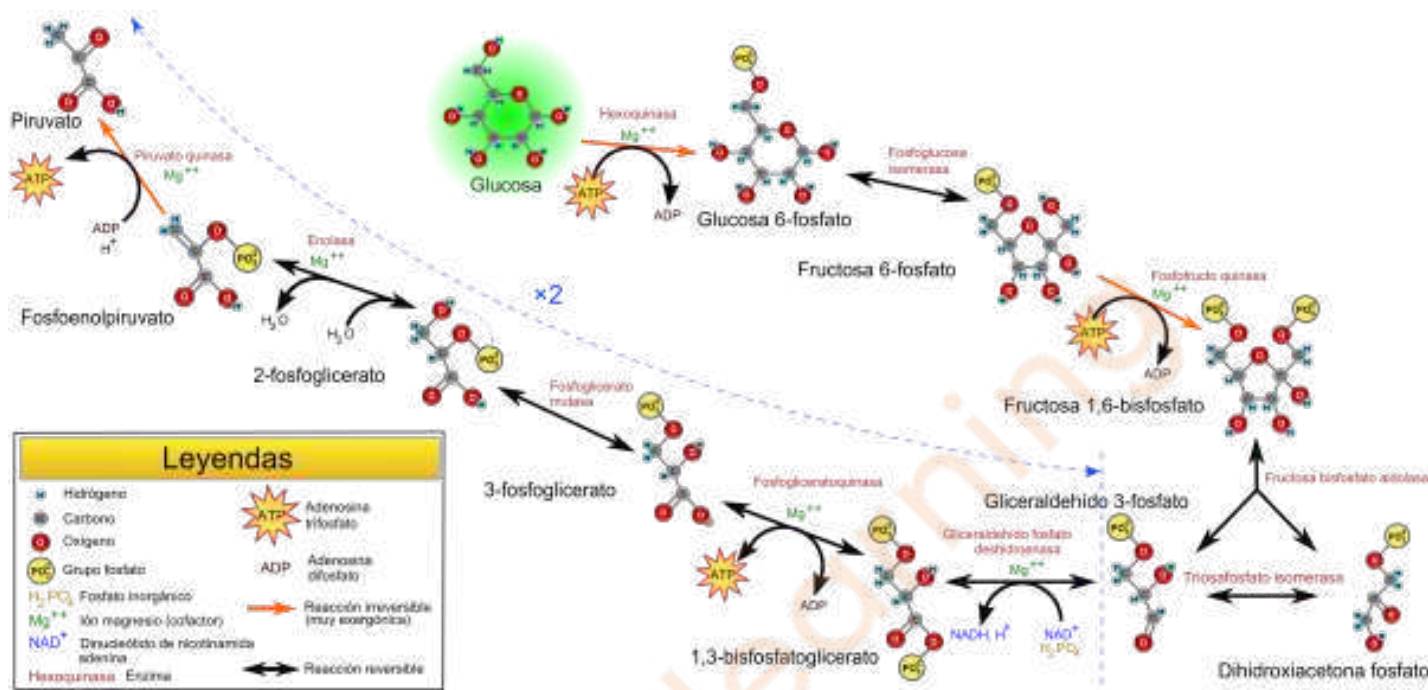
GLICÒLISI

Se produce en citoplasma y se considera anaeróbica, aunque el poder reductor generado será necesario tanto para las fermentaciones como para el Ciclo de Krebs, que es aeróbico. La glucosa se separa en dos moléculas de ácido pirúvico y se sintetizan 2 ATP y 2 NADH.



Pasa en dos fases:

1. Por cada glucosa se consumen 2 ATP.
2. Por cada glucosa se producen 4 ATP, 2 NADH y 2 H₂O, y se obtienen 2 acetil-CoA.

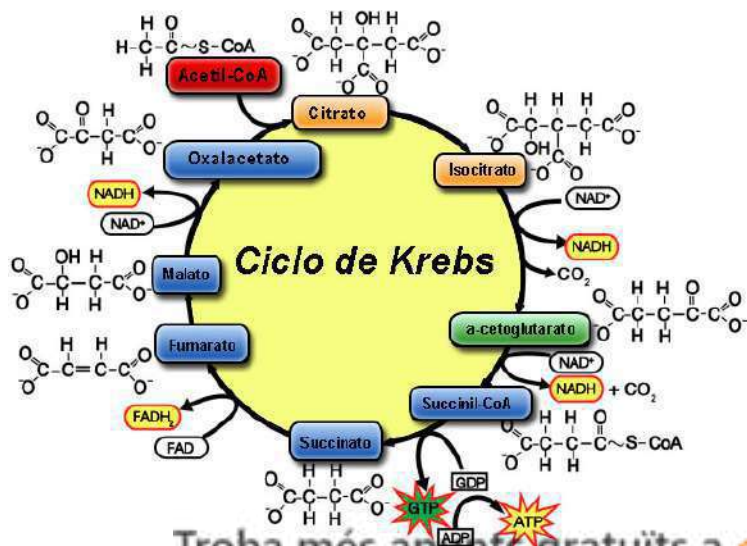
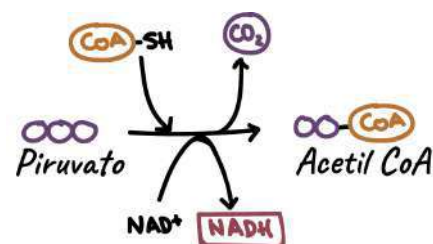


CICLO DE KREBS

El piruvato producido en la glucólisis entra dentro de la mitocondria.

FASE DE PREPARACIÓN O DESCARBOXILACIÓN

Se produce en citoplasma en presencia de oxígeno para que pueda cruzar la membrana mitocondrial y entrar dentro de la mitocondria, dónde entrará en el Ciclo de Krebs y la cadena respiratoria.



EL CICLO DE KREBS

Se produce en la matriz de la mitocondria, en presencia de oxígeno.

Por cada acetil-CoA se obtienen 3 NADH + H⁺, 1 FADH₂ y 1 GTP, y se liberan 1 CO₂.

***¡Por cada glucosa se obtiene el doble, ya que 1 glucosa → 2 acetil-CoA!**

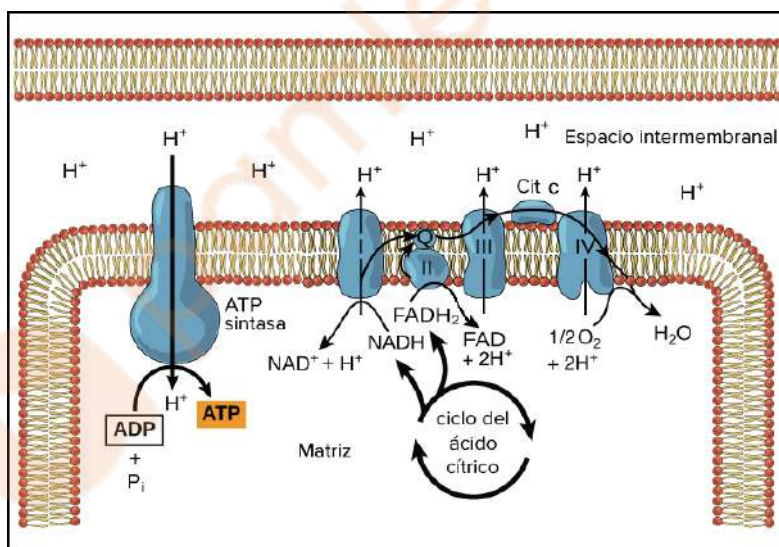
EL TRANSPORTE DE ELECTRONES EN LA CADENA RESPIRATORIA

Es la última etapa de la respiración. Su finalidad es oxidar los coenzimas reducidos. (NADH y FADH₂) para:

- Que puedan volver a ser utilizados.
- Poder utilizar su poder reductor para producir ATP.

Distinguimos 3 fases:

1. **El transporte de electrones:** Este electrones que entran en la cadena respiratoria provienen de los NADH y los FADH₂. La cadena respiratoria está formada por moléculas, básicamente proteínas, que están englobadas de forma ordenada en las crestas mitocondriales. Cada molécula de la cadena respiratoria capta electrones de la molécula anterior y las cede a la molécula siguiente. Pierden energía.
2. **La quimiosmosis:** La energía producida por los electrones se utiliza en la cadena para bombear H⁺ de la matriz mitocondrial al espacio intermembranal.
3. **La fosforilación oxidativa:** Los H⁺ vuelven a la matriz mitocondrial mediante unos canales que presentan los enzimas llamadas ATP sintetasa. Por cada dos H⁺ que atraviesan la ATP sintetasa se provoca la síntesis de un ATP. **Por cada NADH se obtienen 3 ATP y por cada FADH₂ se obtienen 2 ATP.**



PROCESO	¿EN QUE CONSISTE?	CITOSOL (BALACE ENERGÉTICO)	MATRIZ MITOCONDRIAL (BALACE ENERGÉTICO)	CRESTAS MITOCONDRIALES (TRANSPORTE ELECTRÓNICO)	BALACE ENERGÉTICO
GLICÓLISIS	Paso de la glucosa a dos moléculas de piruvato.	2 ATP 2 NADH			2 ATP 6 ATP
RESPIRACIÓN	Descarboxilación del piruvato a acetil-CoA		2 x 1 NADH	2 x 3 ATP	6 ATP
	Ciclo de Krebs		2 x 1 GTP 2 x 3 NADH 2 x 1 FADH ₂	2 x 9 ATP 2 x 2 ATP	2 ATP 18 ATP 4 ATP
TOTAL					38 ATP

LAS FERMENTACIONES ANAERÓBICAS

La oxidación del NADH^+H^+ y del FADH_2 en la cadena respiratoria tiene como aceptor final de los electrones al oxígeno. De esta manera, el NAD^+ se recupera y la glucólisis y el ciclo de Krebs pueden mantenerse.

Si no hay oxígeno, NADH^+H^+ y del FADH_2 se acumulan y los procesos de obtención de energía se interrumpen. En estas condiciones, condiciones anaerobias o de falta de oxígeno, ciertos microorganismos y, por ejemplo, nuestras células musculares, recuperan las coenzimas oxidadas por diversas vías metabólicas conocidas bajo el nombre de fermentaciones anaeróbicas.

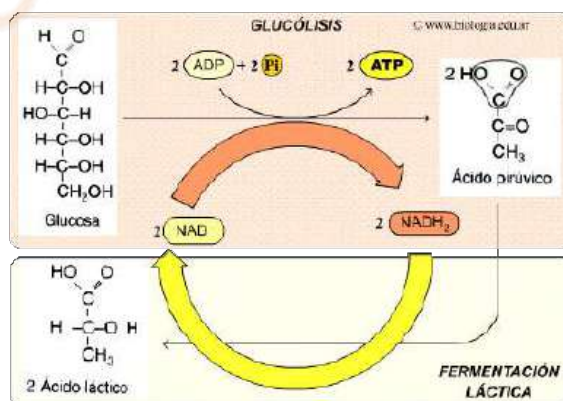
Es más, para algunos microorganismos, los anaerobios estrictos, las fermentaciones son su única fuente de energía. Se les llama anaerobios estrictos porque no pueden vivir en un medio que contenga oxígeno ya que éste les es letal. Otros, los anaerobios facultativos, utilizan estas vías como mecanismo de emergencia durante los períodos en los que no disponen de oxígeno. En las fermentaciones, la glucosa no se degrada totalmente a CO_2 y H_2O , sino que se produce una degradación incompleta de la cadena carbonada.

Según el producto obtenido, tendremos las siguientes fermentaciones:

FERMENTACIÓN LÁCTICA

La realizan las bacterias del yogur y, por ejemplo, las células musculares, cuando no reciben un aporte suficiente de oxígeno, lo que sucede cuando se lleva a cabo un ejercicio físico intenso.

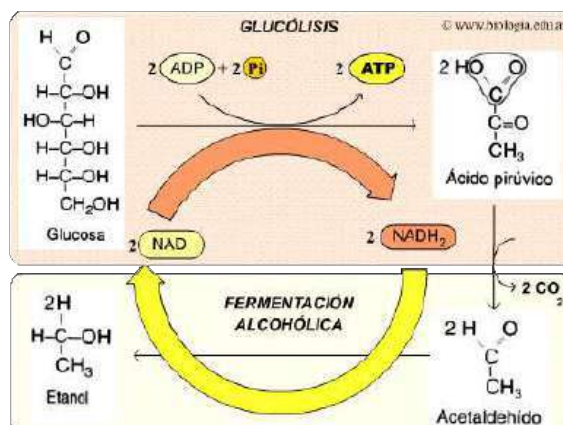
En la fermentación láctica, el ácido pirúvico es reducido a ácido láctico por medio del NADH^+H^+ . De esta manera el NAD^+ se recupera y pueden ser degradadas nuevas moléculas de la glucosa.



FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

En la fermentación alcohólica el ácido pirúvico es transformado en alcohol etílico (etanol).

Esta fermentación la realizan, por ejemplo, las levaduras del género *Saccharomyces*. Se trata de un proceso de gran importancia industrial que, dependiendo del tipo de levadura, dará lugar a una gran variedad de bebidas alcohólicas: cerveza, vino, sidra, etc. En la fabricación del pan se le añade a la masa una cierta cantidad de



levadura, la fermentación del almidón de la harina hará que el pan sea más esponjoso por las burbujas de CO₂. En este último caso el alcohol producido desaparece durante el proceso de cocción. La fermentación alcohólica tiene el mismo objetivo que la fermentación láctica: la recuperación del NAD⁺ en condiciones anaeróbicas.

En la fermentación alcohólica el ac. pirúvico se descarboxila transformándose en acetaldehído y este es reducido por el NADH a alcohol etílico.

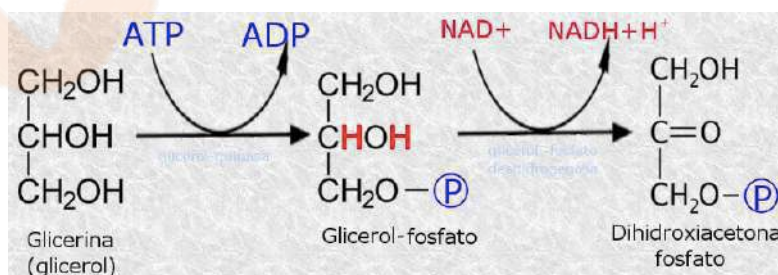
EL CATABOLISMO RESPIRATORIO: LOS LÍPIDOS

Dado que los lípidos que con más frecuencia degradan las células para obtener energía son los triacilglicéridos o grasas neutras, Analizaremos sus rutas degradativas como modelo del catabolismo de los lípidos en general. Recordaremos que los triacilglicéridos son ésteres de la glicerina con tres ácidos grasos.

La primera etapa de la degradación de los triacilglicéridos consiste en la hidrólisis de los tres enlaces éster que poseen para dar lugar a la glicerina y los ácidos grasos libres. Esta reacción de hidrólisis está catalizada por unos enzimas llamados lipasas y tiene lugar en el hialoplasma celular. A continuación la glicerina y los ácidos grasos siguen rutas degradativas separadas.

DEGRADACIÓN DE LA GLICERINA

La glicerina procedente de la hidrólisis de las grasas se fosforila a expensas de una molécula de ATP para dar lugar a glicerol-fosfato, el cual se oxida a continuación, cediendo sus electrones al NAD⁺ para transformarse en dihidroxiacetona-fosfato. Este último compuesto se degrada a través de la glucólisis, de la que es uno de sus intermediarios. Así, vemos que la ruta de degradación de la glicerina converge con las rutas del catabolismo de los azúcares. Por otra parte, el NADH obtenido así en el hialoplasma, cede sus electrones a los sistemas de lanzadera que los conducirán a la cadena de transporte electrónico mitocondrial para producir ATP.



DEGRADACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS: LA β-OXIDACIÓN.

Los ácidos grasos, una vez liberados en el hialoplasma, penetran en la matriz mitocondrial y son allí degradados a acetil-CoA mediante una ruta catabólica llamada β- oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen. Para ello deben ser previamente activados por una molécula de coenzima A transformándose en acil(graso)-CoA. Esta activación tiene lugar

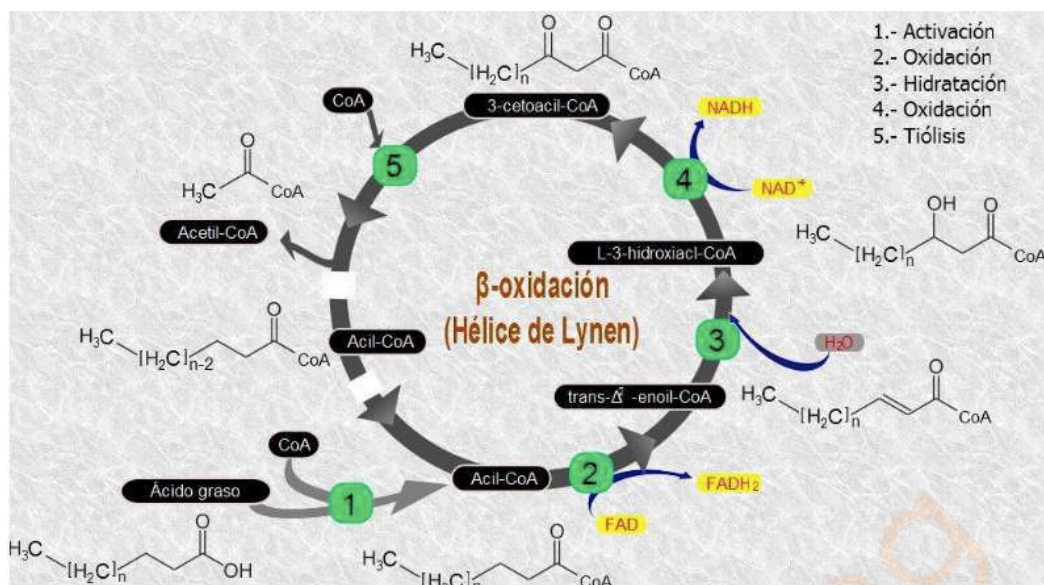
cuando el ácido graso atraviesa la membrana mitocondrial externa y requiere el consumo de una molécula de ATP que se hidroliza para dar AMP y pirofosfato. El pirofosfato se hidroliza seguidamente para dar dos moléculas de fosfato inorgánico, con lo que, en realidad, se consumen dos enlaces fosfato de elevada energía.

La β -oxidación consiste en una secuencia de cuatro reacciones, dos de las cuales son oxidaciones que afectan al carbono de la posición β del ácido graso (Figura 16.10). Los electrones liberados en estas dos oxidaciones son recuperados en forma de una molécula de NADH y otra de FADH₂. La consecuencia última de estas oxidaciones es la rotura del enlace que une los carbonos α y β del ácido graso, lo que conlleva la liberación de los dos átomos de carbono terminales en forma de acetil-CoA. Al mismo tiempo, el carbono β , ahora oxidado a grupo carboxilo, se une a una nueva molécula de CoA, esta vez sin consumo de ATP, dando lugar a un nuevo ácido graso activado con 2 átomos de carbono menos que el original. Este ácido graso activado puede entrar ahora en un nuevo ciclo de oxidaciones en su carbono β (otra "vuelta" de la hélice de Lynen), y así sucesivamente hasta la total degradación a acetil-CoA del ácido graso original.

En general, un ácido graso activado de n átomos de carbono dará lugar a $n/2$ moléculas de acetil-CoA. Para ello serán necesarias $(n/2)-1$ vueltas de la hélice de Lynen; esto se debe a que, tras la escisión de la última molécula de acetil-CoA, el "ácido graso activado" que queda es ya una molécula de acetil-CoA que no necesita sufrir un nuevo ciclo de oxidaciones. Por cada vuelta de la hélice de Lynen se consume una molécula de CoA y se obtiene un NADH y un FADH₂.

A partir de este momento las rutas degradativas de los ácidos grasos convergen con las de los azúcares: el acetil-CoA obtenido en la β -oxidación es degradado mediante el Ciclo de Krebs y los coenzimas reducidos que se obtienen en ambas rutas ceden sus electrones a la cadena respiratoria que los conduce hasta el oxígeno para formar agua; en el proceso se desprende energía que es recuperada en forma de ATP en la fosforilación oxidativa.

Si, al igual que hicimos para los azúcares, reunimos toda la información de que disponemos acerca de la degradación de los ácidos grasos, y obtenemos el balance energético de la misma, comprobaremos que se obtiene una cantidad de ATP proporcionalmente superior a la que se obtendría a partir de la degradación de azúcares de semejante peso molecular, lo cual está en concordancia con la afirmación de que las grasas poseen un contenido energético mayor que el de los azúcares. La razón de que ello sea así reside en que, por ser las grasas sustancias altamente hidrogenadas o reducidas, tienen un amplio margen de oxidación, es decir, poseen muchos electrones que pueden ceder a la cadena respiratoria durante este proceso, lo que se traduce en un mayor rendimiento energético en moléculas de ATP.

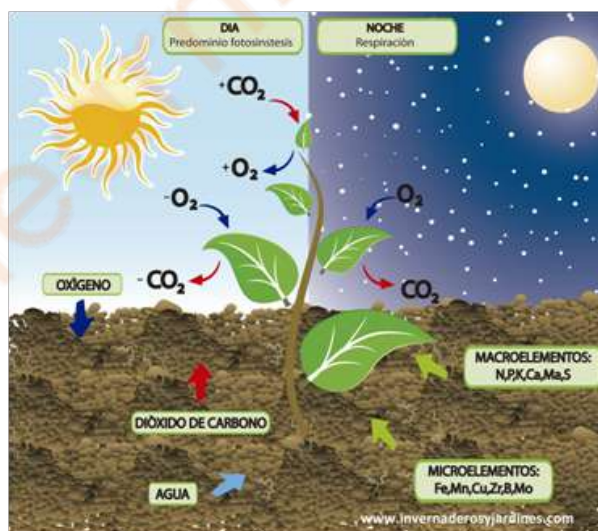


LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis puede definirse como un proceso anabólico que se produce en los cloroplastos y 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 la fotosíntesis se van a producir los siguientes procesos:

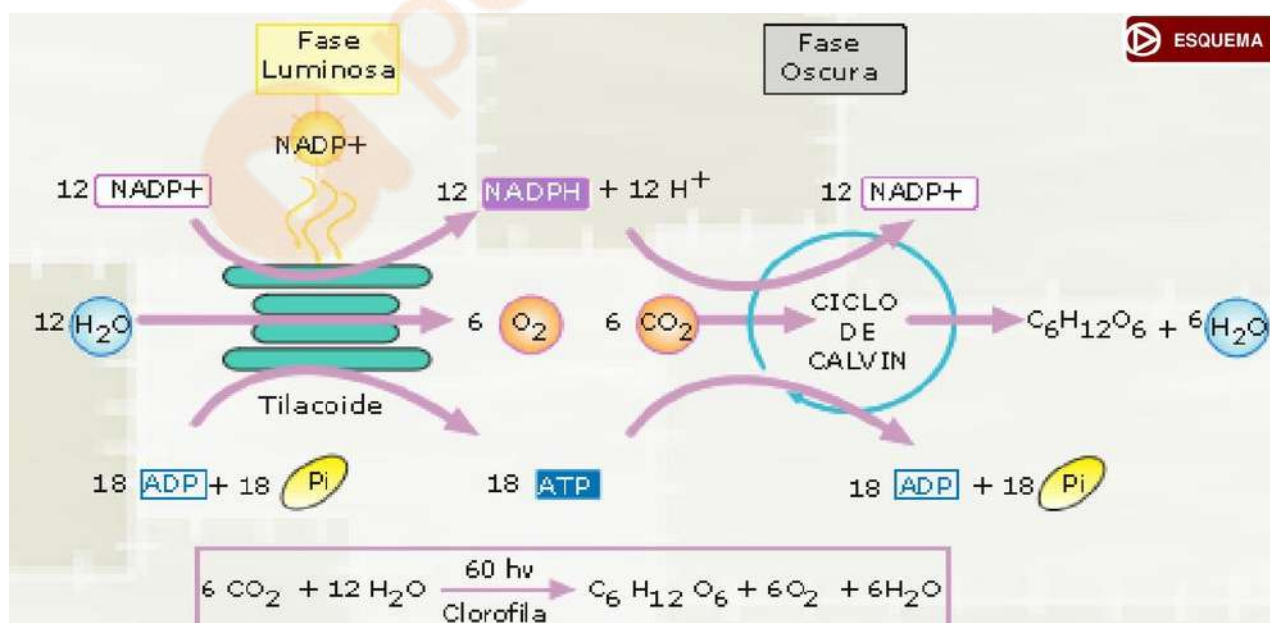
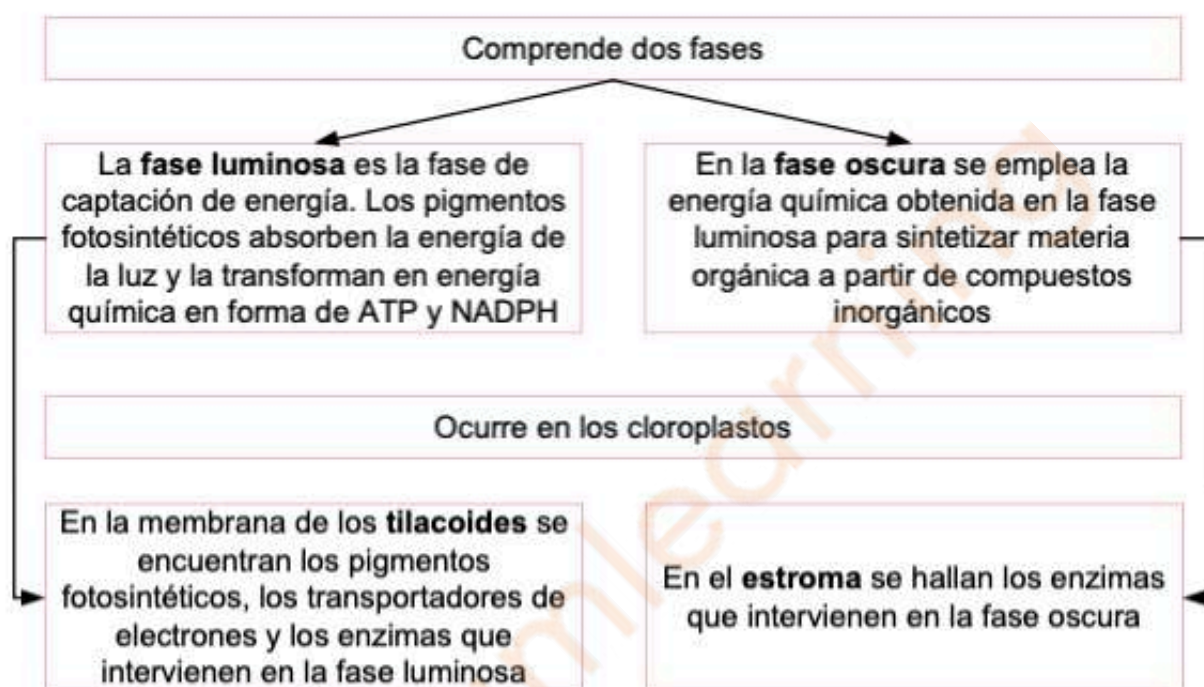
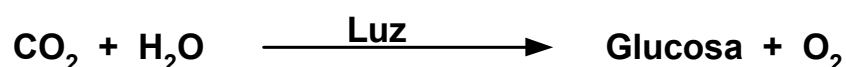
1. Captación por las clorofilas y otros pigmentos fotosintéticos de la energía luminosa y su transformación en energía química contenida en el ATP.
2. Obtención de electrones a partir del agua. Estos electrones, convenientemente activados por la energía luminosa servirán para reducir NADP.
3. Incorporación del carbono del CO_2 a las cadenas carbonadas.
4. Reducción por el NADPH del carbono incorporado y síntesis de compuestos orgánicos.
5. Reducción de otras sustancias inorgánicas (nitratos, nitritos, sulfatos, etc.) para su incorporación a las cadenas carbonadas.



ECUACIÓN GLOBAL DE LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis, su conjunto, es un proceso redox en el que el CO_2 y otras sustancias inorgánicas son reducidas e incorporadas en las cadenas carbonada. Aunque son muchas las

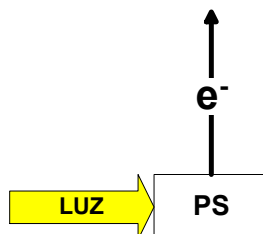
sustancias orgánicas que se forman en el cloroplasto, la que se forma en mayor cantidad es la glucosa. Por esto la ecuación global de la síntesis de glucosa en el cloroplasto se considera como la ecuación global de la fotosíntesis.



FASE LUMINOSA

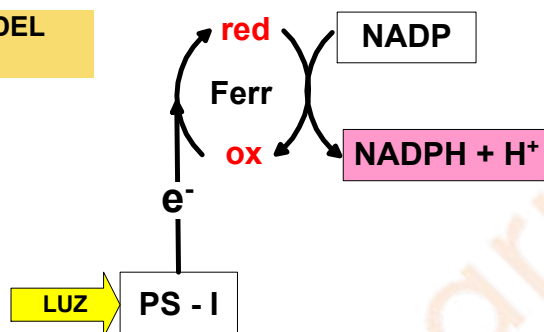
Los pigmentos fotosintéticos se encuentran en la membrana de los tilacoides asociados a proteínas constituyendo los **fotosistemas I y II** (PS - I y II)

CAPTACIÓN DE ENERGÍA POR LOS FOTOSISTEMAS



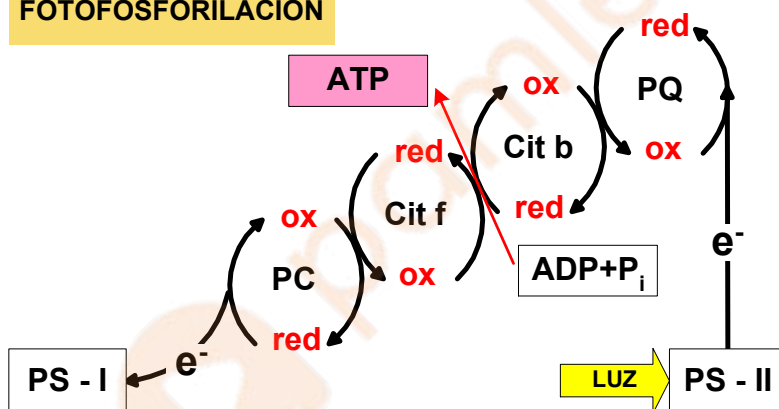
Al incidir la luz sobre los pigmentos fotosintéticos se desprenden electrones que pasan a niveles energéticos superiores

REDUCCIÓN DEL NADP



Los electrones desprendidos por el fotosistema I son captados por la ferredoxina que los transfiere al NADP, formando **NADPH + H⁺**

FOTOFOSFORILACIÓN

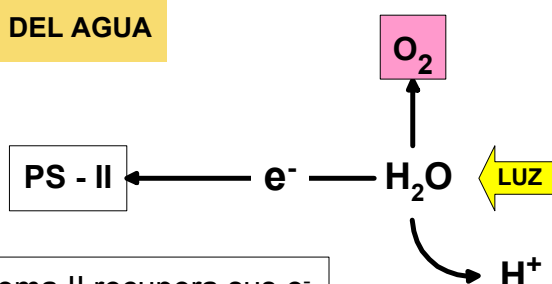


Los electrones desprendidos por el fotosistema II atraviesan una cadena de transportadores de e⁻ en la que van cayendo de nivel energético

La energía desprendida en cada paso se acumula y será utilizada para fosforilar una molécula de ADP y formar **ATP**

El fotosistema I recupera sus e⁻

FOTÓLISIS DEL AGUA



La descomposición de una molécula de H₂O por la acción de la luz genera los e⁻ que requiere el PS - II

Se desprende O₂ a la atmósfera

El fotosistema II recupera sus e⁻

FASE OSCURA

En el estroma de los cloroplastos, y como consecuencia de la fase luminosa, se van a obtener grandes cantidades de ATP y NADPH+H⁺, metabolitos que se van a utilizar en la síntesis de compuestos orgánicos. Esta fase recibe el nombre de fase oscura porque en ella no se necesita directamente la luz, sino únicamente las sustancias que se producen en la fase luminosa.

