

TEMA 12: FOTOSÍNTESIS: fase luminosa y fase oscura. QUIMIOSÍNTESIS. OTROS PROCESOS ANABÓLICOS.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Fotosíntesis.

1.1. Fases y localización.

1.1.1. 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.

1.1.2. Fase oscura o ciclo de Calvin-Benson

1.2. Factores que influyen en la fotosíntesis

2. Quimiosíntesis.

A) Concepto e importancia biológica

B) Organismos quimiosintéticos

3. Otros procesos anabólicos.

A) Anabolismo de los glúcidos

B) Anabolismo de los lípidos

C) Anabolismo de los aminoácidos

D) Anabolismo de los nucleótidos

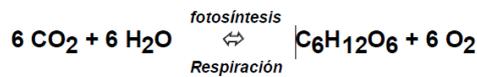
TEMA 12: FOTOSÍNTESIS: fase luminosa y fase oscura. QUIMIOSÍNTESIS. OTROS PROCESOS ANABÓLICOS.

1. 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 (Anabolismo)	Proceso destructivo (Catabolismo)
Proceso reductor	Proceso oxidativo
Consume energía	Libera energía
Libera O ₂	Consume O ₂
$6 \text{ CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energía luminosa} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energía química}$

1.1. 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.

1.1.1. Fase luminosa o Fotofosforilación.

La fase luminosa o fotoquímica 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.

TEMA 12: FOTOSÍNTESIS: fase luminosa y fase oscura. QUIMIOSÍNTESIS. OTROS PROCESOS ANABÓLICOS.

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 700 nm de longitud de onda.
- 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 pérdida de 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) hacia el **Fotosistema I**. La luz actúa sobre la molécula de “clorofila a” (de P700), produciendo que un electrón sea elevado a un

TEMA 12: FOTOSÍNTESIS: fase luminosa y fase oscura. QUIMIOSÍNTESIS. OTROS PROCESOS ANABÓLICOS.

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 NADP^+ , que toma H del medio, es decir, del estroma y se reduce a $\text{NADPH} + \text{H}^+$.

a.3. Fotolisis del agua.

De esta forma la clorofila recupera los electrones perdidos tomándolos 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 ATPasas, enzimas que catalizan la síntesis de ATP partir de $\text{ADP} + \text{P}_i$. Según sea el destino final de los electrones se distinguen dos tipos de fosforilaciones: **cíclica y acíclica**.

• Fotofosforilación acíclica

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 ($\text{NADPH} + \text{H}^+$). El hueco electrónico que queda en el fotosistema I, debe rellenarse con electrones los cuales provienen, en último término del agua, gracia 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 $\text{NADPH} + 1 \text{H}^+$.

TEMA 12: FOTOSÍNTESIS: fase luminosa y fase oscura. QUIMIOSÍNTESIS. OTROS PROCESOS ANABÓLICOS.

• Fotofosforilación cíclica

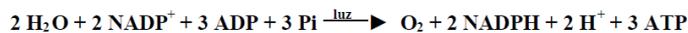
En la **fotofosforilación cíclica**, sólo interviene el PS I, los electrones cedidos por el fotosistema I retornan a través de las proteínas transportadoras. En este retorno se libera energía suficiente para sintetizar **ATP** (No se realiza la fotólisis del agua ni la fotorreducción del NADP, por tanto, no se desprende NADPH ni O₂, 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⁺ se encuentran en el estroma del cloroplasto. Ambas moléculas serán utilizadas para la reducción del CO₂ en la fase oscura de la fotosíntesis.

b. Ecuación global de la fase luminosa.

La ecuación global sería:



1.1.2. Fase oscura o ciclo de Calvin-Benson

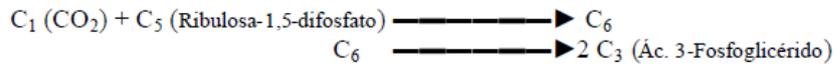
La fase oscura o biosintética agrupa todos los procesos y reacciones de la fotosíntesis que pueden ser llevados a cabo por los cloroplastos sin necesidad de la luz.

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 (CO₂) 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.

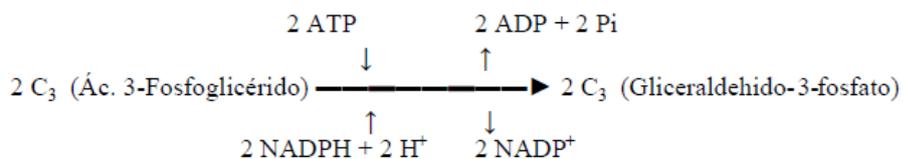
Podemos considerar tres fases en el proceso oscuro de la fotosíntesis:

TEMA 12: FOTOSÍNTESIS: fase luminosa y fase oscura. QUIMIOSÍNTESIS. OTROS PROCESOS ANABÓLICOS.

► **Fase de carboxilación o fijación del CO₂.** El CO₂ 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⁺ 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 CO₂* que se incorpora, se consumen **3 ATP y 2 NADPH**, o sea, que para incorporar 6 CO₂ y lograr extraer del ciclo una molécula de glucosa (6C) harán falta **18 ATP y 12 NADPH**.



1.2. 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 CO₂. A mayor concentración de CO₂ mayor actividad fotosintética, hasta que se llega a un punto en el que se estabiliza.

TEMA 12: FOTOSÍNTESIS: fase luminosa y fase oscura. QUIMIOSÍNTESIS. OTROS PROCESOS ANABÓLICOS.

- Concentración de O₂. Al aumentar la concentración de O₂ 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 CO₂ y la actividad fotosintética disminuye.

2. Quimiosíntesis.

A) Concepto e importancia biológica

La quimiosíntesis es una forma de nutrición autótrofa en la que la energía necesaria para la elaboración de compuestos orgánicos se obtiene de la oxidación de ciertas sustancias del medio. Aunque este proceso es exclusivo de algunos grupos de bacterias tiene una gran importancia biológica ya que de esta manera se reciclan los compuestos totalmente reducidos (NH₃, H₂S, CH₄) y se cierran los ciclos de la materia en los ecosistemas.

Igual que en la fotosíntesis se pueden distinguir dos fases:

- en la primera se obtiene energía y poder reductor por oxidación de compuestos muy reducidos como el metano, el ácido sulfhídrico, etc.;
- la segunda fase es semejante a la que ocurre en la fotosíntesis y en ella se asimila y reduce el dióxido de carbono.

B) Organismos quimiosintéticos

1. Bacterias del hidrógeno

Estas bacterias pueden activar el hidrógeno molecular con ayuda de hidrogenasas y utilizarlo para obtener energía. Frecuentemente las bacterias de este tipo son autótrofas facultativas y pueden nutrirse también de compuestos orgánicos.

2. Sulfobacterias

Las bacterias del género *Thiobacillus* son capaces de obtener energía por oxidación de compuestos reducidos de azufre. La mayoría de las bacterias de este género son capaces de oxidar diversos compuestos de azufre y forman sulfato como producto final.

TEMA 12: FOTOSÍNTESIS: fase luminosa y fase oscura. QUIMIOSÍNTESIS. OTROS PROCESOS ANABÓLICOS.

3. Ferrobacterias

Algunas bacterias viven en aguas ricas en compuestos de hierro ferroso, absorben estas sustancias y las oxidan a hierro férrico, que forma hidróxido férrico muy insoluble y precipita. Esta reacción produce poca energía por lo que deben oxidar grandes cantidades de hierro para poder vivir.

4. Bacterias nitrificantes

Oxidan compuestos reducidos del nitrógeno presentes en el suelo. Las bacterias nitrificantes, como las del género *Nitrosomonas*, oxidan el amoníaco y lo convierten en nitritos. Las bacterias nitrificantes, como *Nitrobacter*, oxidan los nitritos a nitratos. Estas bacterias existen en todos los suelos, salvo en los tropicales, que son pobres en oxígeno.

3. Otros procesos anabólicos.

A) Anabolismo de los glúcidos

1. Gluconeogénesis

Síntesis de glucosa a partir de precursores que no son glúcidos. El precursor es el oxalacetato que se forma en la matriz mitocondrial. Como la membrana mitocondrial interna es impermeable al oxalacetato, éste es primero reducido a malato que sí puede atravesarla y salir al hialoplasma donde será oxidado de nuevo a oxalacetato. El oxalacetato es posteriormente carboxilado y fosforilado a fosfoenolpiruvato (PEP). Dos moléculas de PEP se utilizarán para sintetizar una molécula de glucosa en una serie de reacciones algunas de las cuales son inversas de la glucólisis y otras exclusivas de la gluconeogénesis.

2. Glucogenogénesis

Este proceso se realiza especialmente en las células del hígado y en los músculos. Consiste en la síntesis de glucógeno realizada en el hialoplasma a partir de moléculas de glucosa activadas en forma de UDP-glucosa. La síntesis de almidón en las células vegetales es similar, aunque el activador es el ATP.

TEMA 12: FOTOSÍNTESIS: fase luminosa y fase oscura. QUIMIOSÍNTESIS. OTROS PROCESOS ANABÓLICOS.

B) Anabolismo de los lípidos

Los fosfolípidos, colesterol y derivados se sintetizan en el retículo endoplasmático. Los triglicéridos en el hialoplasma.

SÍNTESIS DE GLICERINA: Se realiza en el hialoplasma a partir de la dihidroxiacetona-3P.

SÍNTESIS DE ACIDOS GRASOS: Condensaciones sucesivas de fragmentos de 2C ocurrida también en el hialoplasma. El complejo enzimático que cataliza el proceso no es capaz de añadir moléculas de 2C en forma de acetil-CoA, sino en forma de malonil-CoA.

C) Anabolismo de los aminoácidos

Algunos aminoácidos no pueden ser sintetizados (aminoácidos esenciales). En el hombre son: lisina, triptófano, treonina, metionina, fenilalanina, leucina, valina e isoleucina.

Se produce en el hialoplasma. El grupo amino suele provenir del ácido glutámico.

Los principales precursores son: α -cetogluárico (glutámico), 3-fosfoglicérico (serina), pirúvico (alanina), oxalacético (aspártico y asparagina) y el propio glutámico (prolina y glutamina).

La biosíntesis de proteínas se realiza en los ribosomas.

D) Anabolismo de los nucleótidos

Es un proceso complejo. Los productos de su degradación son utilizados en la síntesis. Los ácidos nucleicos son sintetizados en el núcleo.