

14. Anabolismo



1. ANABOLISMO

2. CLOROPLASTOS

3. A FOTOSÍNTESE É UN PROCESO ANABÓLICO

A fotosíntese implica a redución de CO_2

A diversidade de seres vivos do planeta depende da fotosíntese

4. A FOTOSÍNTESE CONSTA DE DÚAS FASES

A fase luminosa prodúcese no tilacoide

A clorofila e outros pigmentos captan a luz solar Os fotosistemas canalizan a enerxía luminosa

A fase luz pode ser cíclica ou acíclica

Na fase de luz acíclica funcionan os fotosistemas I e II.

Na fase de luz cíclica, só funciona o fotosistema I.

O gradiente electroquímico de protóns xera ATP.

5. NA FASE ESCURA FÍXASE O CARBONO

O Ciclo de Calvin divídese en tres fases.

6. HAI VARIOS FACTORES QUE AFECTAN Á FOTOSÍNTESE

A fotorespiración diminúe a eficiencia da fotosíntese

7. HAI VARIOS TIPOS DE BACTERIAS QUIMOSINTÉTICAS.

8. ANABOLISMO HETERÓTROFO

14.1 ANABOLISMO

O **anabolismo** inclúe todas as rutas ou procesos **construtivos** que ocorren nunha célula que conducen á síntese de moléculas complexas a partir doutras máis simples, e requírese un aporte de enerxía. No anabolismo podemos distinguir dúas etapas:

- **Anabolismo autótrofo.** Nesta primeira etapa prodúcese o paso de moléculas inorgánicas a moléculas orgánicas sinxelas como a glicosa. Realízano os organismos autótrofos, fotosintéticos ou quimiosintéticos.
- **Anabolismo heterótrofo.** Produce se o paso das moléculas orgánicas sinxelas a moléculas orgánicas complexas con función estrutural ou de reserva enerxética, como polisacáridos, triglicéridos, proteínas ou ácidos nucleicos. O anabolismo heterótrofo é común a todos os organismos autótrofos e heterótrofos e realízase de forma similar en todos eles



Figura 14.1. Tipos de anabolismo autótrofo.

14.2 OS CLOROPLASTOS

Os **cloroplastos** son un tipo de plastos que conteñen clorofila, un pigmento verde, grazas ao cal realizan a fotosíntese. Este proceso ocorre nas zonas verdes das plantas, como son os talos e follas verdes. As algas tamén teñen cloroplastos.

Os cloroplastos son orgánulos relativamente grandes, duns 5 μm de diámetro, e xeralmente de forma alongada ou esférica. Algunhas células teñen só un cloroplasto, outras teñen ata 20 ou 40 copias. Como nas mitocondrias, a teoría endosimbiótica axuda a explicar a estrutura interna do cloroplasto, a presenza da dobre membrana e o ADN circular.

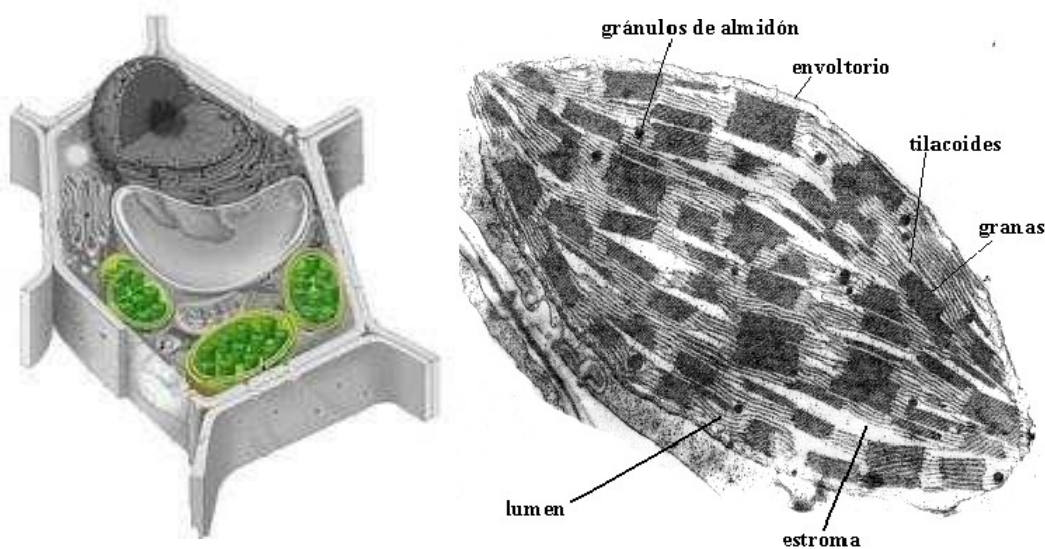


Figura 14.2 Á esquerda, tamaño e situación relativa dos cloroplastos na célula vexetal; cara á dereita, Imaxe do microscopio electrónico da estrutura interna dun cloroplasto. Fonte

A dobre membrana delimita dúas cámaras: un espazo interno chamado **estroma** e un espazo intermembrana estreito.

- A membrana externa contén porinas que lle confiren unha gran permeabilidade, igual que que nas mitocondrias, para moléculas pequenas.
- A membrana interna é moito menos permeable, como ocorre nas mitocondrias, e ten un gran número de proteínas transportadoras específicas.
- As dúas membranas están separadas por un espazo intermembrana.

O espazo interno do cloroplasto contén unha serie de sacos internos chamados **tilacoides**, formados pola membrana tilacoidal, e un espazo interno o **espazo tilacoidal**. Os tilacoides apílanse e cada grupo recibe o nome de **granum**, que en plural latino é **grana**, polo que os **tilacoides da grana** son os que están formando ditas moreas. Os granum están conectados entre si por outros tilacoides máis longos e non amontoados chamados **tilacoides do estroma**, que interconectan todos os tilacoides formando un espazo tilacoidal único.

As membranas tilacoidais conteñen **pigmentos fotosintéticos**, principalmente clorofilas, carotenoides, etc., así como **partículas F** (ATPases), similares ás das mitocondrias, implicadas no proceso de **fotofosforilación**.

No **estroma**, é onde se producen e almacenan os azúcares e contén ADN circular e ribosomas 70S., tamén pode haber inclusións de grans de amidón, xa que a materia orgánica formada na fotosíntese almacénase como grans de amidón ou mesmo como gotas de lípidos.

Polo tanto, o cloroplasto ten tres membranas (externa, interna e tilacoidal) e tres espazos diferentes (intermembrana, estroma e tilacoidal).

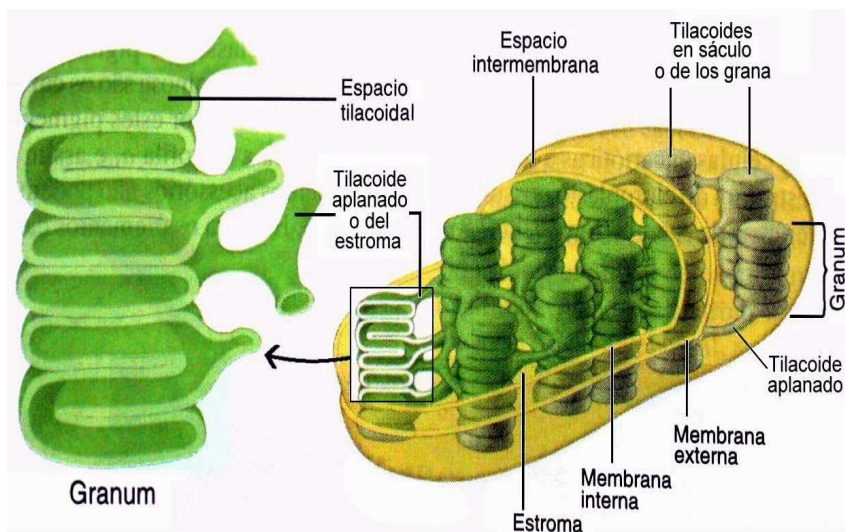


Figura 14.3. Esquema da estrutura interna e organización das membranas dos tilacoides de cloroplasto.

Os cloroplastos son un tipo de plasto ou plastidio, termo xeral que agrupa todos os orgánulos vexetais que fabrican ou almacenan nutrientes ou pigmentos. Os **leucoplastos**: (do grego leukos, que significa branco) son plastos incoloros, que almacenan substancias de reserva, como o amidón. Son abundantes sobre todo nas raíces e rizomas. Os **cromoplastos**, posúen pigmentos de diferentes cores (carotenos e xantofilas), responsables da cor característica de froitos como o tomate, a cenoria, o limón, etc. e as flores. Dependendo da exposición á luz e necesidades do vexetal poden transformarse entre si.

14.3

A FOTOSÍNTESE É UN PROCESO ANABÓLICO

A **fotosíntese** é un proceso de nutrición autótrofa polo cal a materia orgánica se forma por redución de materia inorgánica, utilizando enerxía **luminosa**.



Na fotosíntese cáptase enerxía luminosa e almacénase como enerxía química. Esta enerxía química utilízase para transformar o CO_2 e formar moléculas orgánicas como a glicosa, e outras moléculas orgánicas necesaria para a célula.

Aínda que a reacción global é inversa á respiración ambos procesos non teñen relación xa que realizanse en orgánulos diferentes, con rutas metabólicas diferentes, con distintas reaccións e encimas.

A fotosíntese ten lugar nos **cloroplastos** das células eucariotas e nos tilacoides das cianobacterias.

A reacción que transforma 6 CO_2 en $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ é unha **redución** e para iso necesítase H^+ e e^- . A substancia que funciona como doadora de H^+ e e^- é a auga, grazas a rotura ou fotólise da molécula de auga e, como consecuencia, despréndese O_2 , de aí o nome de fotosíntese osíxenica.

Importancia da fotosíntese

Grazas á fotosíntese prodúcese a **materia orgánica que vai formar os seres vivos**, tanto autótrofos e heterótrofos ademais do osíxeno necesarios para que os seres vivos aerobios poidan respirar, practicamente todos os ecosistemas dependen da fotosíntese.

Ademais, grazas á fotosíntese **recíclase** materia inorgánica, ao transformala de novo en materia orgánica, imprescindible para así pechar os ciclos bioxeoquímicos. A retirada de CO_2 atmosférico para realizar a fotosíntese axuda o **control do efecto invernadoiro**.

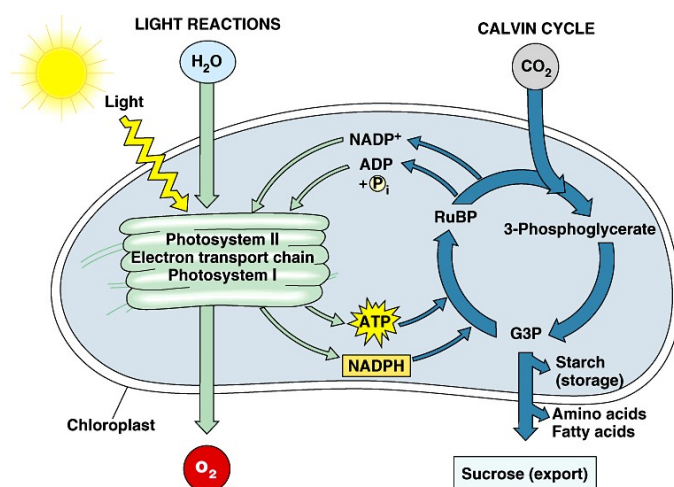
Por outra banda, a aparición da fotosíntese na Terra supuxo a acumulación de **osíxeno** na atmosfera e a formación da capa de **ozono**; esta capa protéxenos da radiación ultravioleta e permitiu que os seres vivos colonizaran o continente.

Así mesmo, grazas á fotosíntese temos os **combustibles fósiles**, como o carbón, petróleo e ao gas natural.

14.4 FASES DA FOTOSÍNTES.

Na fotosíntese distínguense 2 fases:

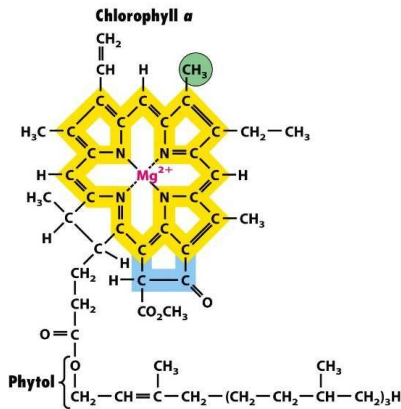
- Fase dependente da luz ou a **fase luminosa**. Son as reaccións encargadas de captar a enerxía luminosa. Usan esta enerxía luminosa para romper a molécula de H_2O , xerando así enerxía química en forma de ATP e NADPH, liberando O_2 como subproduto. Prodúcese dentro das membranas dos **tilacoides**.
- Fase independente da luz ou a **fase escura**. É a parte de síntese da fotosíntese, utilizando o ATP e NADPH obtidos na fase luminosa redúcese o CO_2 do aire para sintetizar moléculas orgánicas. Este ciclo ten lugar no **estroma dos cloroplastos**.



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Figura 14.4. Visión xeral da fotosíntese e as súas fases. Fonte: [Pearson Educación](#)

14.5 FASE LUMINOSA.



A fase luminosa realízase porque a membrana tilacoide contén **pigmentos** fotosintéticos capaces de absorber a luz, os máis importantes son as **clorofila** (os pigmentos son isoprenoides polo que poden ensartarse na membrana).

Cada pigmento capta a enerxía luminosa nunha lonxitude de onda específica, polo que o conxunto de pigmentos, actuando de forma coordinada, e cobren todo o espectro da luz visible. Como pigmentos secundarios destacan a clorofila, **carotenoides** (laranja) e **xantofilas** (amarelo) que se fan visibles no outono cando a clorofila se degrada.

Figura 14.5. Moléculas de clorofila. Fonte: [Bioloxía celular molecular 2008](#)

A estrutura molecular de todos os pigmentos é similar, xa que teñen un sistema de **dobres enlaces conxugados** o que implica unha nube común de electróns capaces de absorber enerxía luminosa e de ser excitados polo impacto dos fotóns, é dicir, que os electróns salten a niveis de enerxía máis altos, sen romper a molécula.

A clorofila xunto con outros pigmentos e varias proteínas transmembrana forman estruturas que se denominan **fotosistemas**. O fotosistema é a unidade funcional do proceso de captación e transformación da enerxía luminosa.

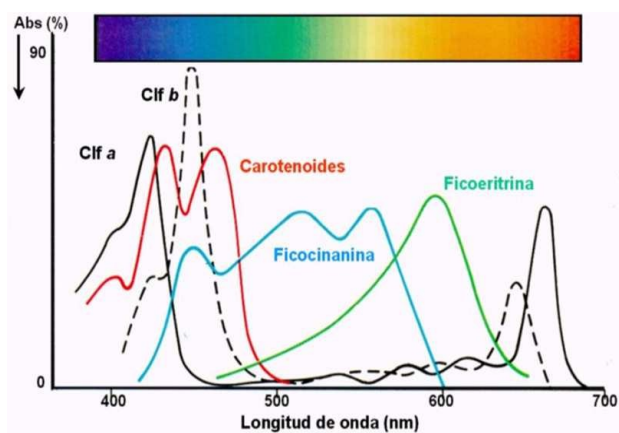
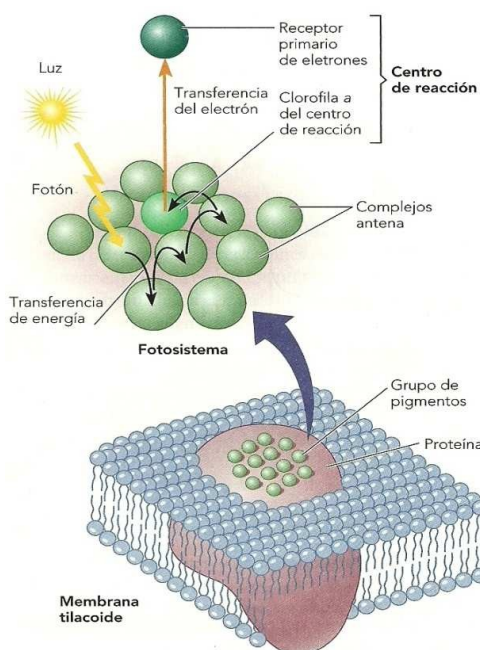


Figura 14.6. Espectro de absorción dos distintos pigmentos fotosintéticos.

Nos fotosistemas pódense distinguir dúas partes: o **complexo de antena** e o **centro de reacción**.



O **complexo antena** son asociacións de pigmentos que captan os fotóns, de diferentes lonxitudes de onda, e transmiten esta enerxía, chamada **enerxía de excitación** duns pigmentos a outros ata cedela aos pigmentos do centro de reacción.

No **centro de reacción** do fotosistema atopamos unhas moléculas especiais de clorofila, os **pigmentos diana**, asociadas a un **aceptor** e a un **doador** de electróns.

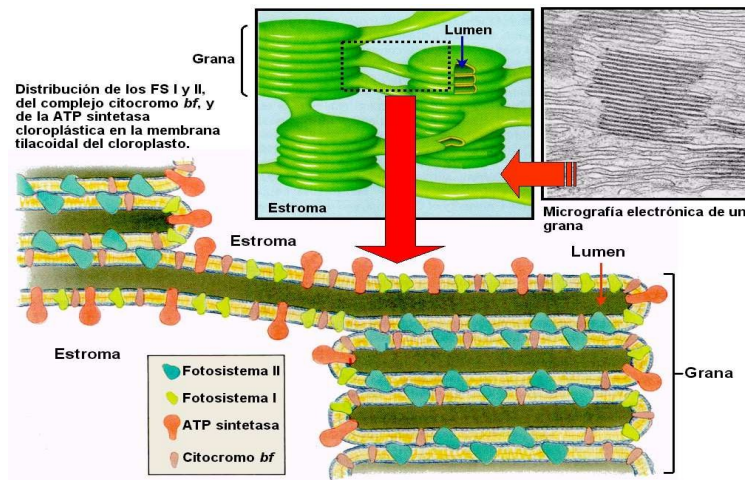
Cando a clorofila diana recibe a enerxía captada pola antena aumenta a enerxía dos seus e- e pode transferilos ao primeiro aceptor de electróns, e este a cadea transportadora. O doador do centro de reacción permite que as clorofilas diana recuperen os electróns perdidos.

Figura 14.7 Modelo dun fotosistema e localización na membrana tilacoide

Hai dous tipos de fotosistemas:

Fotosistema I (PSI) P700 (A clorofila do seu centro de reacción ten un máximo de absorción nunha lonxitude de onda de 700 nm). É máis abundante nos tilacoides do estroma

Fotosistema II (PSII) P680 (máximo de absorción en 680nm) . Atópase principalmente na membrana dos tilacoides da grana.



Imaxe 14.8. Localización dos fotosistemas, citocromos e ATP sintase na membrana dos tilacoides

Na fase luminosa ocorren tres procesos:

- **Fotólise da auga**
- **Fotorredución do NADP+**
- **Fotofosforilación do ADP**

Fotosistema	II	I
Clorofila diana	P680	P700
Doador de e-	H ₂ O	FII

Na fase luminosa acíclica funcionan os fotosistemas I e II.

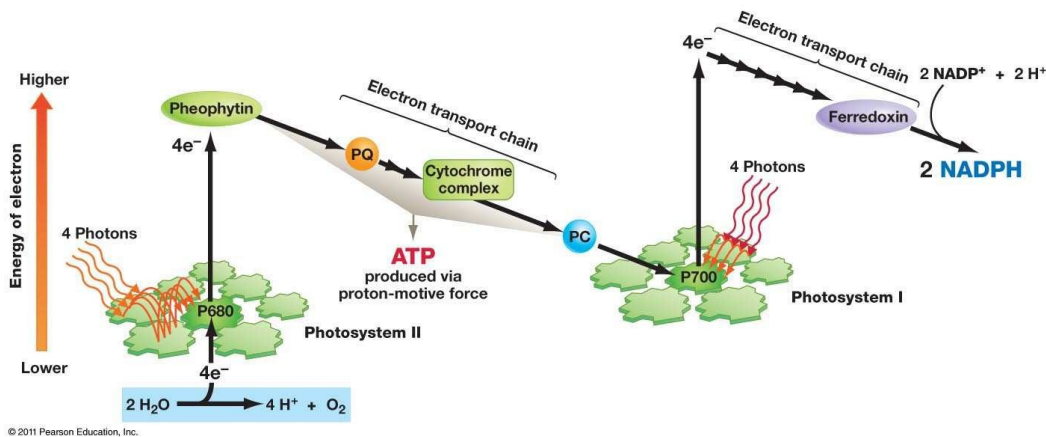
Na membrana dos tilacoides, os dous fotosistemas funcionan simultaneamente absorbendo a luz e uníndose nun patrón en forma de zig- zag, **chamado esquema en Z**. A conexión entre os fotosistemas realízase a través de cadeas de transporte. A enerxía da luz dálle aos electróns a enerxía necesaria para que se produza este transporte en Z dende a auga ata o NADP+.

A fase luminosa acíclica realízase nos seguintes pasos:

1. Comeza coa chegada de **dous fotóns ao fotosistema II**, a luz excita o pigmento diana (P680) que perde electróns.
2. Para repoñer os electróns da clorofila diana prodúcese a **fotólise da auga**, a ruptura dunha molécula da auga grazas a enerxía da luz. Ten lugar na cara interna do tilacoide, e o proceso corresponde á ecuación:

$$2 \text{ fotóns} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+$$
3. Os **H+** procedentes da auga acumúlanse no interior (lumen) do tilacoide e o **O₂** sale ao exterior da célula por difusión.
4. Os **electróns** liberados da auga son captados pola clorofila diana e entran na **cadea do transporte de electróns** (formada por moléculas capaces de gañar e perder eses electróns ordenadas segundo o seu potencial redox) para acabar na clorofila diana do fotosistema I (P700). Durante este transporte novamente prodúcese o paso de H₊ dende o estroma do cloroplasto ao interior do tilacoide.

- Cando o **fotosistema I** recibe a luz a clorofila P700 perde dous electróns pasan a outra cadea de transporte, producíndose finalmente a **fotorredución do NADP⁺** (último aceptor de e⁻) a NADPH. Os electróns que perde a clorofila son substituídos polos que chegan pola cadea de transporte do fotosistema II. **2 fotóns + NADP⁺ + 2H⁺ + 2e⁻ → NADPH + H⁺**
- A enerxía liberada nas cadeas de transporte utilízase indirectamente para impulsar a **síntese de ATP**.



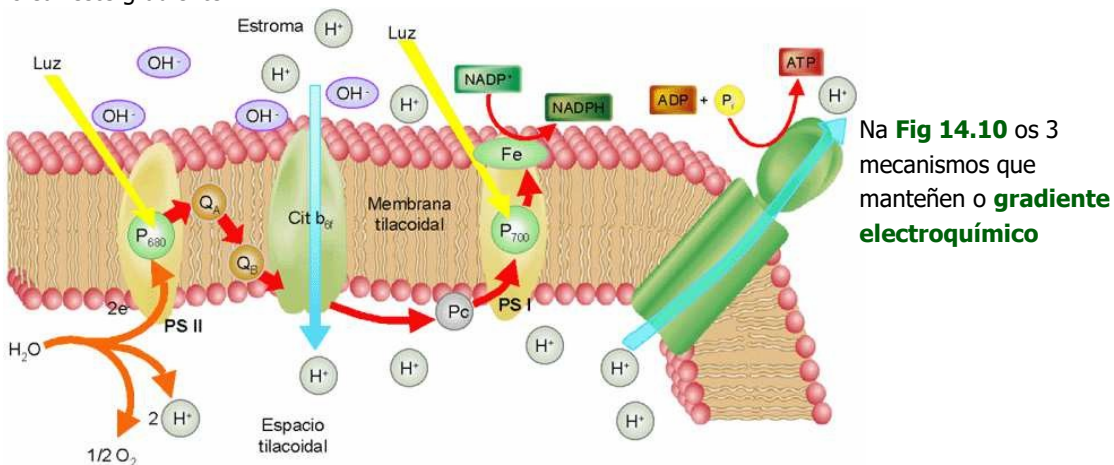
Imaxe 14.9. Fase luminosa acíclica, (esquema en Z). Fonte: Pearson Educación

Fotofosforilación

A síntese de ATP na fase luminosa da fotosíntese realízase polo proceso chamado **fotofosforilación**.

A medida que os electróns pasan pola cadea transportadora liberan enerxía.

Segundo a **hipótese quimiosmótica**, esta enerxía serve para bombear H⁺ do estroma ao interior dos tilacoides establecéndose un gradiente electroquímico. A fotólise da H₂O, que libera H⁺ no interior dos tilacoides, e a formación de NADPH que, cando se reduce, recolle H⁺ do estroma tamén contribúen a crear este gradiente



Os protóns (H⁺) tenden a volver ao estroma, pero só poden regresar a través da canle das **Partículas F** presentes na membrana dos tilacoides, que son ATPases ou ATP sintases que aproveitan a enerxía do fluxo de H⁺ para producir unha fotofosforilación que transforma ADP + Pi en ATP.

A ecuación global da fase luminosa é:



Fase luminosa cíclica.

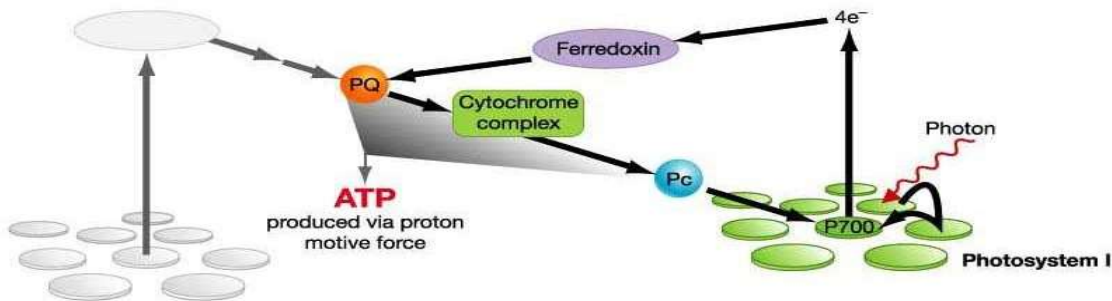
Nos cloroplastos, e tamén en bacterias con fotosíntese anosixénica, prodúcese unha vía alternativa: o transporte **cíclico** de electróns. Este tipo de transporte permite empregar a enerxía luminosa para xerar ATP sen formar NADPH nin desprendemento de O₂

A finalidade da fase cíclica é remediar o **déficit** dende **ATP** que se produce na fase acíclica: na fase acíclica, só se forma algo máis dunha molécula de ATP (1.33) por cada molécula de auga, e para reducir

unha molécula de CO_2 na fase escura son necesarias dúas moléculas de NADPH e tres de ATP. Por iso é necesaria unha síntese adicional de ATP, que se consegue mediante o transporte cíclico.

No transporte cíclico de electróns, só intervén o **PSI**; polo que o único proceso que ocorre é o bombeo de H^+ coa fotofosforilación para a síntese de ATP.

Como é cíclico, sempre se transportan os mesmos electróns, polo que non precisa romper a molécula de H_2O (PSII non actúa). Por iso non se produce O_2 , é unha reacción **anosixénica**.

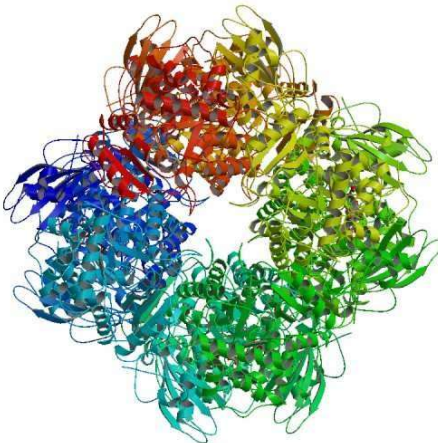


Imaxe 14.11. Fase de luz cíclica. Fonte: [Pearson Educación](#)

14.6 FASE ESCURA

Denomínase fase escura porque non intervén directamente a luz, pero necesita o ATP e NADH producidos na fase luminosa, polo que realízase maioritariamente de día.

Como xa vimos, na **fase escura** realízase a síntese de moléculas orgánicas a partir de CO_2 , utilizando ATP e NADPH sintetizados na fase luminosa no **estroma** dos cloroplastos. Ten lugar por unha vía metabólica cíclica denominada **ciclo de Calvin**.



14.12. RUBISCO

A fixación do CO_2 prodúcese por unha encima chamado **ribulosa bisfosfato carboxilase oxidase** máis coñecido como **RUBISCO**, que está situada no estroma do tilacoide.

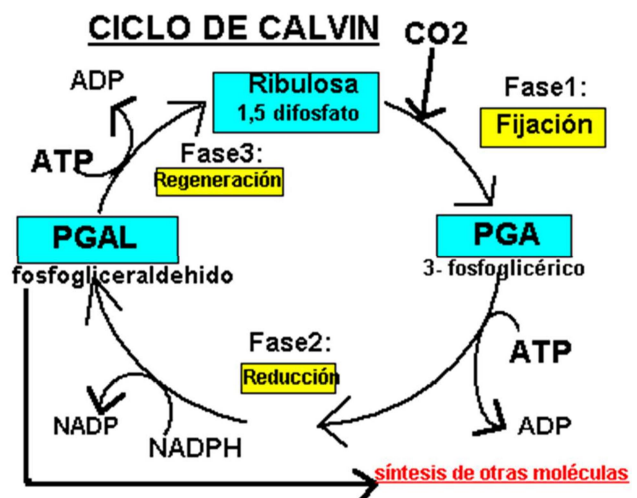
O ciclo de Calvin e a fixación do CO_2 pola RUBISCO están en todos os organismos autótrofos. Aparecen non só en organismos que realizan a fotosíntese osíxenica: cianobacterias, algas eucariotas e plantas, senón tamén en arqueas e bacterias dotadas de diversos metabolismos fotosintéticos ou quimiosintéticos. Considérase que é a proteína máis **abundante** da natureza.

Imaxe

O ciclo de Calvin divídese en tres fases

✚ **Fixación de CO_2 .** O CO_2 únese a unha molécula de ribulosa 1,5-difosfato (5C) en presenza de RUBISCO, e orixina un composto intermedio de 6C moi inestable, que se rompe en dúas moléculas de tres carbonos, o ácido 3-fosfoglicérico (triosa-P).

✚ **Redución.** O ácido 3-fosfoglicérico redúcese a gliceraldehído 3-fosfato (G3P). Para que se produza a redución é necesario o uso de NADPH e ATP obtidos na fase luminosa.



Imaxe 14.13. Ciclo de Calvin simplificado.

✚ **Formación de glicosa e rexeneración da ribulosa 1,5 difosfato.** Unha parte do gliceraldehído-3P (1/6) utilízase para a síntese de glicosa (gliconeoxénese) e outras moléculas orgánicas (lípidos, aa.), e o resto utilízase para a recuperación da molécula de ribulosa-1,5-difosfato.

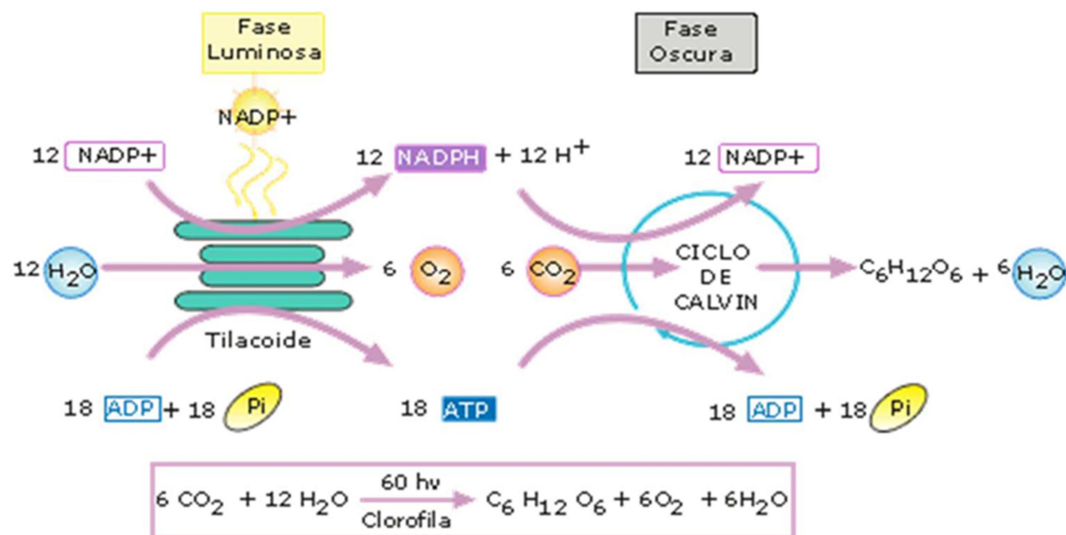
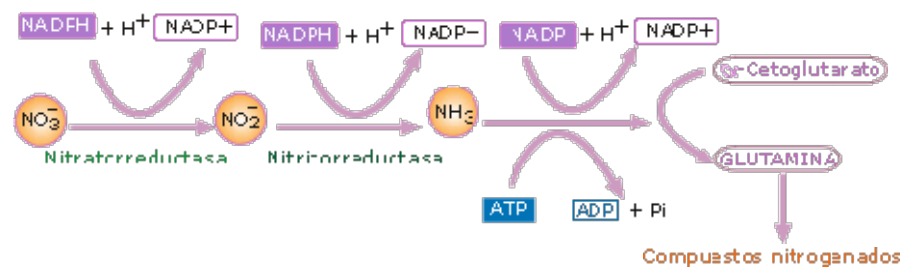
En cada volta do ciclo de Calvin, fíxase e redúcese unha molécula de CO₂, pero como se necesitan 6 para formar unha molécula de glicosa, o ciclo debe dar **6 voltas**.

En cada volta do ciclo de Calvin consúmense 3 ATP e 2 NADPH, en total, para construír unha molécula de glicosa que necesita **18 ATP e 12 NADPH**.

A ecuación global da fase escura é:



Na fotosíntese tamén prodúcese compostos orgánicos nitrogenados (aa) e con xofre (aa) a partir da redución de compostos inorgánicos (nitratos e sulfatos) que son absorbidos pola planta a través de las raíces.

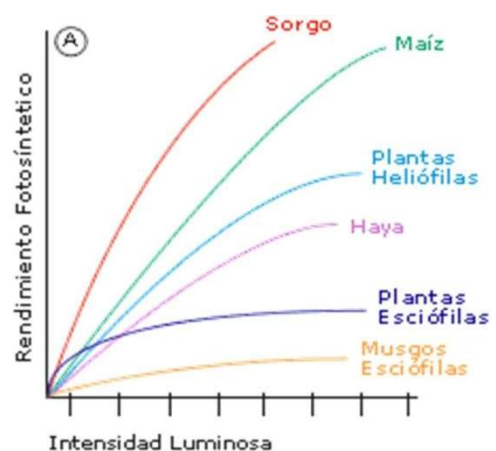


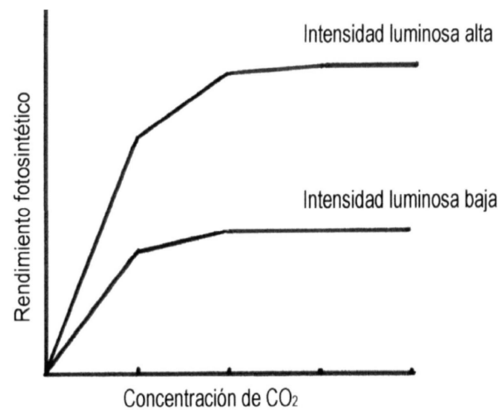
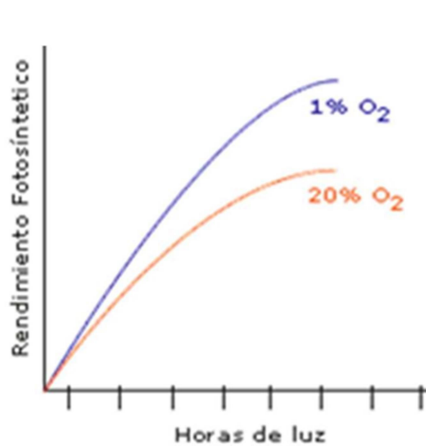
Imaxe 14.15. Rendemento neto da fotosíntese.

14.7 FACTORES QUE AFECTAN Á FOTOSÍNTESE

Da ecuación global da fotosíntese podemos deducir a **factores ambientais** que influirán na produción de materia orgánica, entre as que destacan a intensidade luminosa, a concentración de CO₂ e O₂, a cantidade de auga e a temperatura.

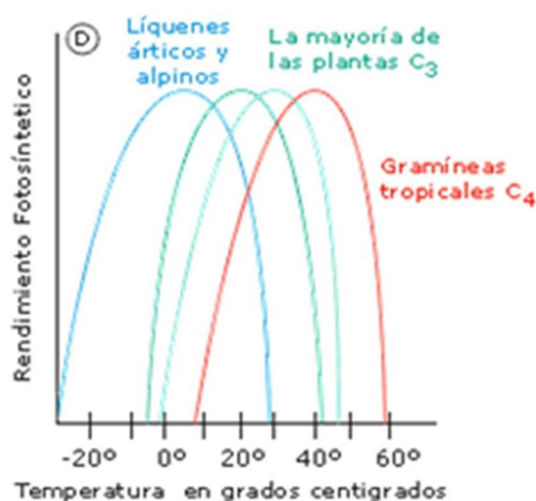
● **Luz.** As plantas están adaptadas para soportar diferentes intensidades de luz, hai plantas de sombra e plantas fotófilas. En xeral, a medida que aumenta a intensidade da luz, a taxa de fotosíntese aumenta ata acadar un valor máximo que é característico de cada especie. Ao alcanzar este valor, aínda que a intensidade aumenta, a velocidade non aumenta. A intensidade luminosa excesiva pode degradar os pigmentos fotosintéticos. Outros factores relacionados como a **cor da luz** e as **horas de iluminación** tamén influirán de xeito similar.





● **Concentración de CO₂.** O CO₂ é un factor limitante da fotosíntese, o aumentar a concentración de CO₂ conseguirase un maior rendemento fotosintético; ata que a RUBISCO se satura e alcanza un valor máximo no que se estabiliza.

● **Concentración de O₂.** A medida que aumenta a concentración de osíxeno, a actividade fotosintética diminúe porque o osíxeno é o produto da reacción. Ademais, como veremos máis adiante, compete co CO₂ polo sitio activo da RUBISCO producíndose a fotorrespiración.



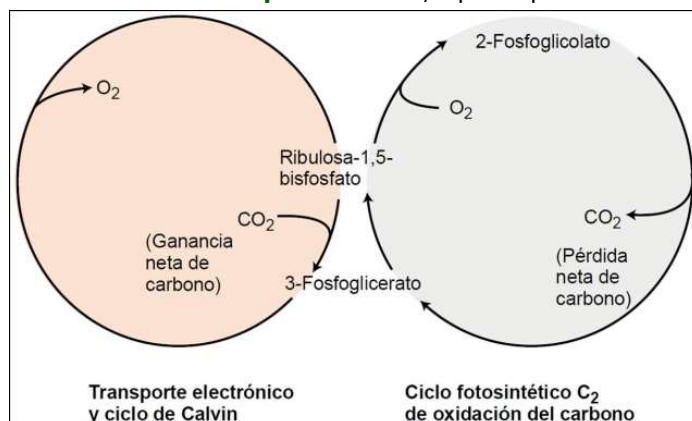
● **Temperatura.** En xeral, o aumento de temperatura dá lugar a un aumento do rendemento da fotosíntese, porque implica unha maior velocidade de reacción, pero se a temperatura se eleva demasiado, os encimas poden empezar a desnaturalizarse e diminúe o rendemento fotosintético. En relación con isto, hai plantas adaptadas a climas cálidos e outras que están adaptadas a climas máis fríos.

● **Humidade ambiente e cantidade de auga do solo.** A falta de auga no aire ou no solo provoca que os estomas das follas pechense para evitar a perda de auga; o que dificulta o paso do CO₂, coa conseguinte diminución da actividade fotosintética.

Ademais, a concentración de O₂ tamén aumenta ao pecharse os estomas producíndose a fotorrespiración.

A fotorrespiración diminúe a eficiencia da fotosíntese

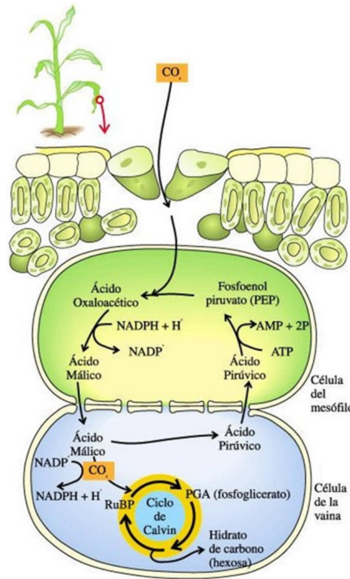
Cando o ambiente está **quente e seco**, a planta pecha os estomas para evitar a perda de auga pola



transpiración. Nestas circunstancias, o CO₂ non entra, e o O₂ da fase luminosa acumúlase e prodúcese a **fotorrespiración**.

O encima RUBISCO ten un dobre papel: como carboxilase e como oxidase. En presenza de CO₂ actúa como carboxilase, fixando o CO₂, pero se o O₂ se acumula no interior da folla, ao pecharse os estomas, actúa como competidor do CO₂.

Cando o sitio activo de rubisco está ocupado por O_2 , funciona como **oxidase**, destruindo a ribulosa 1,5 difosfato, o que diminúe drasticamente o rendemento fotosintético.



A fotorrespiración son a serie de reaccións que teñen lugar entre o cloroplasto, o peroxisoma e as mitocondrias. Este proceso provoca unha redución da eficacia da fotosíntese.

As **plantas C₃**, son as plantas de climas temperados e fríos porque fixan o CO_2 nun composto 3C que é o gliceraldehído 3 fosfato (G3P).

As **plantas C₄** son plantas que viven en climas tropicais, por exemplo o millo, que superaron os efectos negativos da fotorrespiración ao modificar a forma de captar o CO_2 .

Nas células do mesófilo, na superficie da folla, un encima, que non se ve prexudicado polo O_2 , fixa o CO_2 nunha molécula de 4 C. Este composto trasládase as células da vaina onde libera o CO_2 , que entra no ciclo de Calvin. A fase luminosa e a fase escura realízanse en células diferentes e a RUBISCO non se ve afectada pola alta concentración de O_2 .

Fotosíntese anosixénica

Hai **bacterias** que utilizan como doadores de electróns compostos inorgánicos reducidos diferentes da auga. Este modo de fotosíntese é anosixénica, xa que non se desprende osíxeno.

Estas bacterias non teñen cloroplastos, a fotosíntese realízase co fotosistema I (PSI), cuxos compoñentes están en invaxinacións da membrana celular.

Ex: Fotosíntese anosixénica: $CO_2 + H_2S + \text{enerxía luminosa} \rightarrow \text{materia orgánica} + S$

14.8 QUIMIOSÍNTENSE

O **quimiosíntese** consiste na síntese de materia orgánica a partir de inorgánica utilizando a enerxía liberada nas reaccións de oxidación de substancias inorgánicas reducidas.

Os organismos que realizan estes procesos son todas **bacterias** que usan como fonte de carbono o dióxido de carbono nun proceso parecido ao ciclo de Calvin das plantas: quimioautótrofas (ou quimiolitotrofas). Son todas aerobias.

A quimiosíntese podemos dividila en dúas fases:

- **Fase oxidativa:** oxidación de compostos inorgánicos, a enerxía liberada utilízase para sintetizar ATP (fosforilación oxidativa do ADP) e poder redutor (NADH nas bacterias).
- **Fase biosintética:** Utiliza o ATP e o NADH obtidos na fase anterior para obter compostos orgánicos nun ciclo similar ao ciclo de Calvin.

Tipos de bacterias quimiosintéticas.

Segundo o substrato utilizado, as bacterias clasifícanse en varios grupos:

- **Sulfobacterias:** Estas bacterias usan o H_2S procedente da descomposición da materia orgánica, que abunda nas augas residuais.
- **Bacterias do nitróxeno:** Viven no chan e no auga. Oxidan amoníaco (NH_3) procedente dos seres vivos e o transforman en nitratos (NO_3^-), o cal pode ser utilizado polas plantas. Esta oxidación do amoníaco procedente da descomposición da materia orgánica realízase en dúas fases:

Bacterias nitrosificantes: Oxidan o amoníaco a nitritos.

Bacterias nitrificantes: Oxidan os nitritos a nitratos.

- **Bacterias do ferro:** Oxidan compostos ferrosos a férricos.
- **Bacterias oxidantes do hidróxeno:** Quimioautótrofas facultativas, que poden utilizar o hidróxeno molecular.

Importancia das bacterias quimiosintéticas.

Algunhas bacterias viven no fondo dos océanos, asociadas a fontes hidrotermais, e usan a quimiosíntese para producir enerxía sen necesidade de luz solar, onde non poden vivir organismos fotosintéticos. Moitas destas bacterias son a fonte básica de alimentación para o resto de organismos do chan oceánico, creando o único ecosistema terrestre que non depende da luz solar

Moitos dos compostos reducidos que utilizan as bacterias, como o NH_3 ou o H_2S son sustancias procedentes da descomposición da materia orgánica. Ao oxidalas, transfórmanas en sustancias minerais, que poden ser absorbidas polas plantas. Estas bacterias pechan, os ciclos bioxeoquímicos, posibilitando a vida no planeta.

14.9 ANABOLISMO HETERÓTROFO.

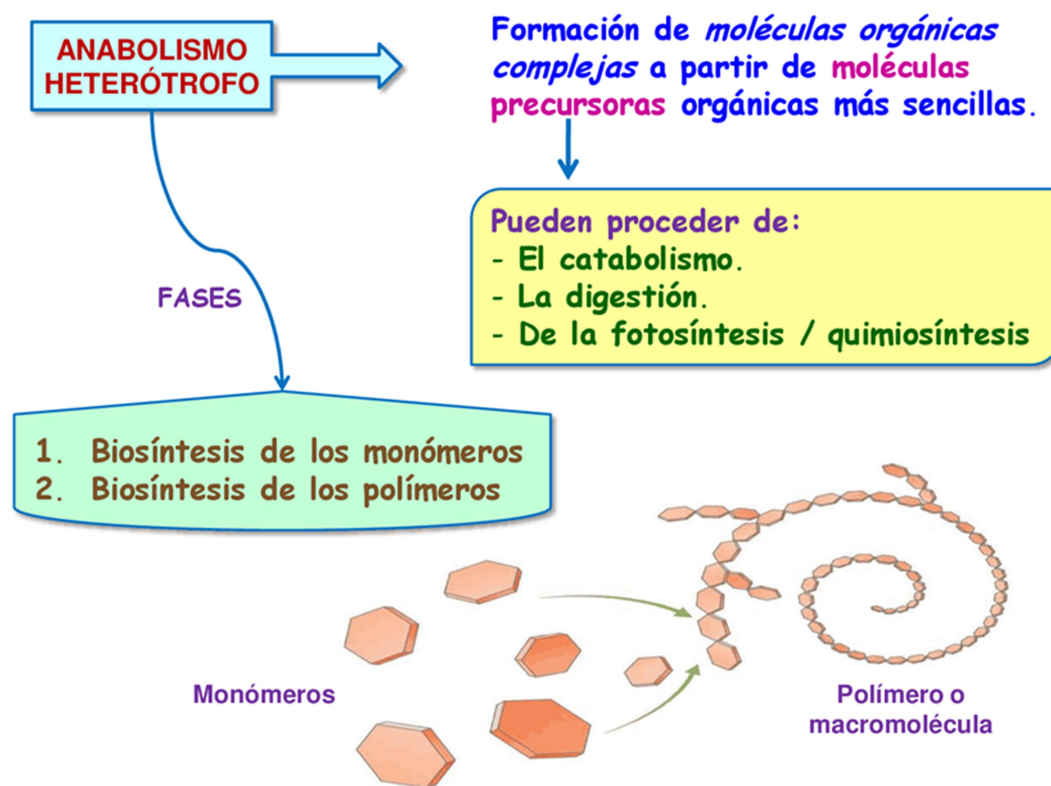
Son os procesos metabólicos que transforman moléculas orgánicas simples en moléculas orgánicas máis complexas. Son vías comúns, realízana nas que tanto os organismos **heterótrofos como os autótrofos**. Necesitan da enerxía (ATP) e o poder redutor (NADH ou FADH_2) obtidos no catabolismo. A maioría das rutas anabólicas teñen lugar no **hialoplasma**.

As rutas anabólicas para a síntese de moléculas son diferentes das catabólicas, aínda que con moita frecuencia comparten reaccións reversibles, sempre existe algún paso distinto en cada ruta. Así as rutas poden ter unha regulación encimática independente da catabólica, realizase en lugares diferentes da célula e as veces a reaccións opostas son enerxeticamente imposibles.

Podemos distinguir dúas fases :

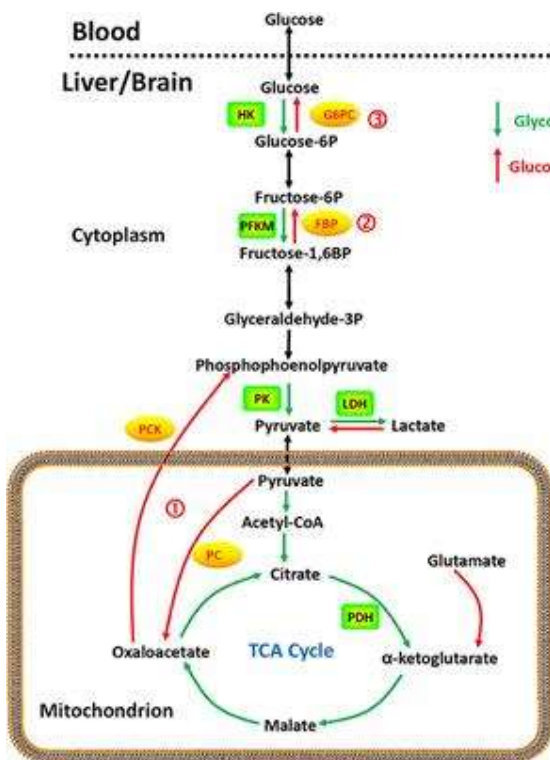
1ª etapa. Formación de **monómeros** a partires dos seus precursores

2ª etapa. Síntese de **macromoléculas**



Anabolismo de glúcidos

• Gliconeoxénese



Na gliconeoxénese a glicosa sintetízase a partir de compostos orgánicos non glicídicos fundamentalmente, piruvato, intermediarios do ciclo de Krebs e ácido láctico. **Nos vexetais pode sintetizarse tamén a partir dos ácidos graxos, pero non nos animais**, porque non se pode formar ácido pirúvico, que é o punto de partida para a síntese de , dende o acetil-CoA.

Ten lugar fundamentalmente no fígado, permite obter glicosa en xaxún ou eliminar o ac. Láctico producido polas células en anaerobiose. Requírese un aporte constante de glicosa como fonte de enerxía para o sistema nervioso e os eritrocitos. Ademais, a glicosa é o único combustible que proporciona enerxía ao músculo esquelético en condicións anaerobias e é un precursor do azucre do leite (lactosa).

Partindo do **piruvato** a maior parte das reaccións son as reversibles da glicólise. Por cada glicosa consúmese 4 **ATP** e 2**GTP**

(6ATP) e 2**NADH**

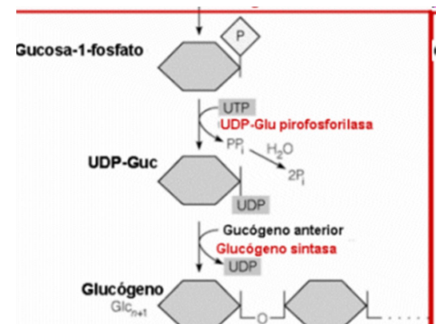
Estas reaccións inicianse nas **mitocondrias**, pero a maior parte das reaccións realízanse no **citósol**.

• Glicoxenoxénese

Na glicoxénese, o glicóxeno sintetízase a partir da glicosa, tamén no **citósol**, para acumulalo como substancia de reserva. Esta reacción ocorre no fígado e no músculo esquelético dos animais.

É activado pola **insulina** en resposta aos altos niveis de glucosa, que poden ser (por exemplo) posteriores a tomar alimentos ricos en carbohidratos.

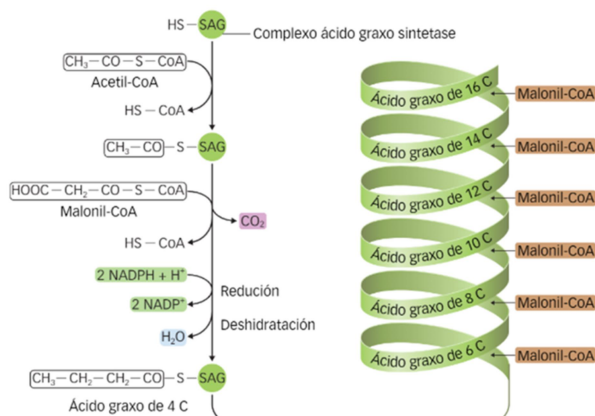
A amiloxénese é a síntese de amidón nos plastos das células vexetais



Anabolismo de lipídico

Os lípidos máis importantes con función de reserva son os triglicéridos. A súa síntese require a obtención de ac. graxos e glicerina.

• Síntese de ac. Graxos



Ten lugar no **citósol**.

Iníciase co **acetil-CoA** producido no metabolismo dos glúcidos, ac. graxos e aa nas mitocondrias. Estas moléculas de Acetil-CoA teñen que saír das mitocondrias, para o que se necesita o consumo de **ATP**.

No citósol, as moléculas de Acetil-CoA vanse unindo sucesivamente a través dun intermediario de 3C (malonil-CoA) que redúcese polo **NADPH+ H⁺**.

A síntese de lípidos, polo tanto, require dun gasto de **ATP** e un gran consumo de poder reductor aportado polo **NADPH + H⁺**.

En cada volta aumenta en 2C a cadea hidrocarbonada.

- **Síntese de glicerina.**

A glicerina pode obterse da hidrólise dos lípidos ou por redución (consume NADH + H⁺) da dihidroxicetona-P procedente da glicólise.

- **Síntese de lípidos**

As moléculas de glicerol-3P vanse esterificar con moléculas de acil-Coa formándose os **aciglicéridos**.

Tanto os triglicéridos como os lípidos de membrana sintetízanse no R.E.L.

Síntese de aminoácidos.

Só os seres autótrofos son capaces de sintetizar as 20 proteínas aa; Outros organismos só poden producir unha determinada cantidade número deles (variable en cada especie). Así o home só pode sintetizar 12; as outras 8 aa deben incorporarse dieta (aa esenciais). As plantas poden sintetizar todos os seus aa na fotosíntese.

Cada unha dos 20 aa sintetízase segundo unha vía metabólica diferente, que tamén pode variar segundo o tipo de célula. Os precursores destas sínteses son intermediarios do catabolismo, en concreto, da **glicólise e do ciclo de Krebs**; aínda que estes últimos fórmanse no interior das mitocondrias, pasan ao **citosol**, que é onde prodúcese a síntese de todos os aa.

O grupo amino engádese por transaminación ou pode proceder dun ión amonio libre (NH₄⁺) procedente da desaminación doutro aa.

Síntese de nucleótidos.

Poden sintetizarse a partir da hidrólise de nucleótidos preexistentes (pentosas, ac, fosfórico e bases nitroxenadas.) ou sintetizarse de novo. As bases nitroxenadas sintetízanse por complexas rutas metabólicas a partir dos aa.

CUESTIÓNS E EXERCICIOS

1. Indica o papel das seguintes moléculas na fotosíntese: PSI, PSII, H₂O, NADP⁺, O₂, cadea fotosintética.
2. Sobre a fotosíntese:
 - a) Cal é a ecuación global que o describe?
 - b) Onde está a cadea portadora de electróns?
 - c) Cal é o doador final de electróns na fotofosforilación cíclica? E no acíclica?
 - d) Que é o composto aceptor de CO₂ no ciclo de Calvin?
3. Tanto na respiración mitocondrial como na fase luminosa da fotosíntese hai encimas que traballan con NADH ou NADPH, unha cadea de transporte de electróns, e con ATP-sintase, pero hai certas diferenzas. Responde as preguntas da seguinte táboa:

	RESPIRACIÓN	FOTOSÍNTESE
A cadea de transporte de electróns está en...		
O portador de hidróxeno é...		
Se produce oxidación de NADH ou redución de NADP ⁺ ?		
Os protóns (H ⁺) son aportados por:		
Os protóns (H ⁺) introdúcense en: A síntese de ATP chámase...		

5. Os animais poderíamos vivir comendo só lípidos e proteínas. Por qué?