

ANABOLISMO

- 1. Anabolismo: concepto e tipo
- 2. Fotosíntese
 - 2.1. Fotosíntese osixénica
 - 2.2. Factores que inflúen na fotosíntese
 - 2.3. Importancia da fotosíntese
- 3. Quimiosíntese
- 4. Anabolismo dos glúcidos
 - 4.1. Síntese de glicosa: gliconeoxénese
 - 4.2. Síntese de polisacáridos
- 5. Anabolismo das graxas
 - 5.1. Síntese de glicerina
 - 5.2. Síntese de ácidos graxos
 - 5.3. Síntese de triacilglicéridos
- Repaso PAU

1. ANABOLISMO: CONCEPTO E TIPOS

O anabolismo é o conxunto de reaccións metabólicas polas que se sintetizan moléculas máis complexas a partir doutras máis sinxelas.

As reaccións anabólicas requiren:

- Unha fonte de enerxía, posto que se trata de reaccións endergónicas.
- Unha fonte de materia, que achegue as substancias iniciais.
- Unha fonte de electróns, xa que se trata de reaccións de redución.

TIPOS DE ANABOLISMO

- Anabolismo autótrofo --> paso de moléculas inorgánicas, como H₂O, CO₂, NO₃⁻, etc., a moléculas orgánicas sinxelas, como glicosa, ácidos graxos ou aminoácidos. Os seres autótrofos (auto significa “por si mesmo” e trofos “alimentación”) que realizan este tipo de anabolismo fabrican a súa propia materia orgánica a partir de materia inorgánica. Existen dous tipos de anabolismo autótrofo segundo sexa a fonte de enerxía empregada para a síntese dos novos compostos:
 - Anabolismo autótrofo fotosintético. Utiliza enerxía luminosa, como no caso das plantas, algas, cianobacterias e bacterias fotosintéticas.
 - Anabolismo autótrofo quimiosintético. A enerxía que se require para a síntese é a que se libera en reaccións de oxidación de compostos inorgánicos. Só as bacterias denominadas quimiosintéticas realizan este proceso.
- Anabolismo heterótrofo --> paso de 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 moi similar en todos eles.

2. FOTOSÍNTESE

Proceso anabólico fotoautótrofo que consiste na conversión da enerxía luminosa procedente do Sol en enerxía química (ATP) que pode utilizarse na síntese de materia orgánica (biomasa). Ten lugar nos cloroplastos das células das plantas e algas, e no citoplasma e membrana celular das bacterias fotosintéticas.

A fotosíntese das plantas, algas e bacterias son procesos semellantes que se diferencian nas moléculas que funcionan como dadoras de electróns e protóns. Segundo isto, diferéncianse dous tipos de fotosíntese:

- Fotosíntese osixénica: é a que levan a cabo as plantas, as algas e as cianobacterias. Os electróns que se utilizan para reducir ó dióxido de carbono proceden da auga, polo que se libera osíxeno.
- Fotosíntese anosixénica: é a que realizan algunhas bacterias fotosintéticas que empregan dadores de electróns diferentes da auga polo que non se desprende osíxeno. Por exemplo, as bacterias sulfuradas verdes empregan sulfuro de hidróxeno, liberando xofre.

2.1. FOTOSÍNTESE OSIXÉNICA

Ten lugar en dúas fases, química e espacialmente separadas:

- Fase lumínica. Comprende un conxunto de reaccións dependentes da luz, que teñen lugar nas membranas tilacoidais. A enerxía da luz emprégase para producir ATP e coencima reducida NADPH.
- Fase escura. Abarca un conxunto de reaccións independentes da luz, que teñen lugar no estroma. A enerxía e o poder redutor xenerados na fase lumínica son empregados para formar compostos orgánicos a partir de substancias inorgánicas.

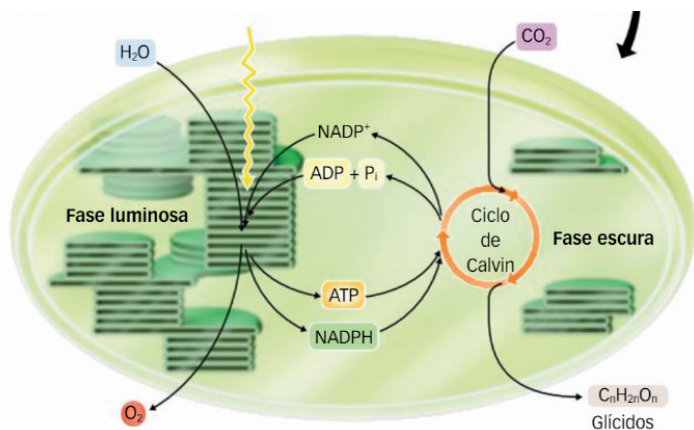


Figura 1. Localización e interrelación entre as etapas da fotosíntese osixénica

FASE LUMÍNICA

Ten lugar no aparello fotosintetizador das membranas tilacoidais dos cloroplasto, que está constituído por catro tipos de estruturas: fotosistema I (PSI), fotosistema II (PSII), cadea transportadora de electróns e encimas ATP-sintetases.

Procesos

- Captación de luz --> realízase nos fotosistemas
- Transporte de electróns --> realízase na cadea transportadora de electróns
- Fotofosforilación --> é levada a cabo pola ATP-sintetase

Captación de luz

Nos fotosistemas localízanse os pigmentos fotosintéticos, moléculas encargadas de captar a enerxía luminosa. Neles distínguense dous tipos de estruturas:

- Complexo captador de luz ou antena: contén varios tipos de pigmentos fotosintéticos (clorofila a, clorofila b, xantofilas e carotenoides) que captan a enerxía solar e canalízana ao centro de reacción.
- Centro de reacción: contén dúas moléculas especiais de clorofila a, que constitúen o pigmento diana, encargado de absorber a enerxía lumínica canalizada polos pigmentos antena. Neste centro de reacción tamén hai un aceptor e un dador de electróns.

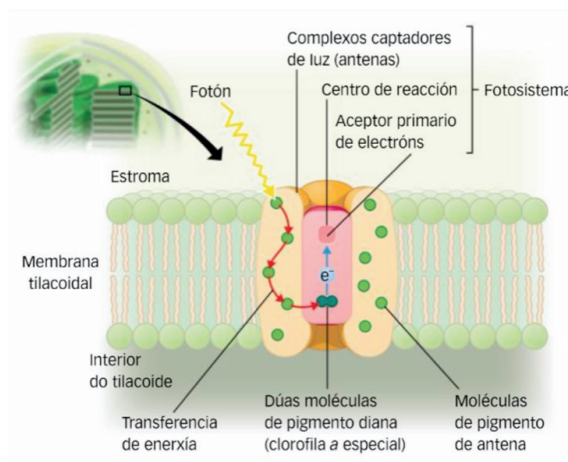


Figura 2. Elementos dos fotosistemas

O fotosistema I (PSI) localízase preferentemente nas membranas dos tilacoides de estroma. O seu centro de reacción contén dúas moléculas de clorofila a denominadas P700, posto que teñen o seu punto de máxima absorción a unha lonxitude de onda de 700 nm.

O fotosistema II (PSII) localízase nos tilacoides da grana. O seu centro de reacción contén dúas moléculas de clorofila a, denominadas P680, que teñen a súa máxima absorción a unha lonxitude de onda de 680 nm.

Transporte de electróns

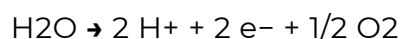
Esta fase da fotosíntese pode ocorrer en dúas modalidades: con transporte aciclíco de electróns ou con transporte cíclico.

• Fotosíntese acíclica

- Os pigmentos antena do PSII absorben dous fotóns.
- A enerxía dos fotóns é transmitida por resonancia entre as moléculas antena ata acadar o centro de reacción.
- A clorofila a especial do centro de reacción P680 excítase (=os seus electróns ascenden a un orbital de maior nivel enerxético) e pasa a ser un axente redutor.
- A clorofila P680 cede 2 electróns á feofitina, que é o aceptor primario.
- A feofitina transfire os electróns á plastoquinona (PQ), que á súa vez os cede a un complexo de citocromos b/f e este á plastocianina (PC)
- A plastocianina é unha proteína móbil da luz do tilacoide que leva os electróns ata o centro de reacción do PSI.
- Os pigmentos antena do PSI tamén absorben dous fotóns.
- A enerxía dos fotóns é transmitida entre as moléculas antena ata acadar o centro de reacción.
- A clorofila a especial do centro de reacción P700 excítase e pasa a ser un axente redutor.
- A clorofila P700 cede 2 electróns a un aceptor primario chamado A0.
- O aceptor primario transfire os electróns de forma sucesiva ó aceptor A1 e a 3 proteínas de ferro e xofre, que os ceden finalmente á ferredoxina (Fd).
- A ferredoxina transfire os electróns á encima NADP+-redutase, que tamén capta dous protóns (H⁺) do estroma.
- A encima NADP+-redutase transfire os 2 electróns e os 2 protóns á coencima NADP⁺, que se reduce, dando lugar a NADPH.



A excitación dos pigmentos fotosintéticos e a consecuente cesión de electróns provoca un déficit electrónico nas clorofilas do centro de reacción dos fotosistemas. O oco electrónico de P700 (PSI) é cuberto polos dous electróns que proceden do PSII a través da plastocianina. Porén o déficit electrónico do P680 (PSII) recupérase gracias á fotólise da auga polo efecto da enerxía da luz.



Os electróns obtidos transfírense ó dador Z, que os achega ata a clorofila P680; os protóns (H⁺) acumúlanse no interior do tilacoide, e o átomo de osíxeno deberá combinarse con

outro átomo de osíxeno, procedente doutra fotólise da auga, para formar osíxeno molecular (O_2), que difunde cara o exterior do cloroplasto e da célula.

- Fotosíntese cíclica --> só participa o fotosistema I
 - Os pigmentos antena do PSI tamén absorben dous fotóns.
 - A enerxía dos fotóns é transmitida entre as moléculas antena ata acadar o centro de reacción.
 - A clorofila a especial do centro de reacción P700 excítase e pasa a ser un axente redutor.
 - A clorofila P700 cede 2 electróns a un aceptor primario chamado A0.
 - O aceptor primario transfire os electróns de forma sucesiva ó aceptor A1 e a 3 proteínas de ferro e xofre, que os ceden finalmente á ferredoxina (Fd).
 - A ferredoxina transfire os electróns ó citocromo b/f, que os cede á plastocianina.
 - A plastocianina transfire finalmente os electróns ó centro de reacción do PSI, enchendo o oco electrónico da clorofila P700.

Neste proceso non se produce NADPH nin se libera osíxeno porque non é necesaria a fotólise da auga.

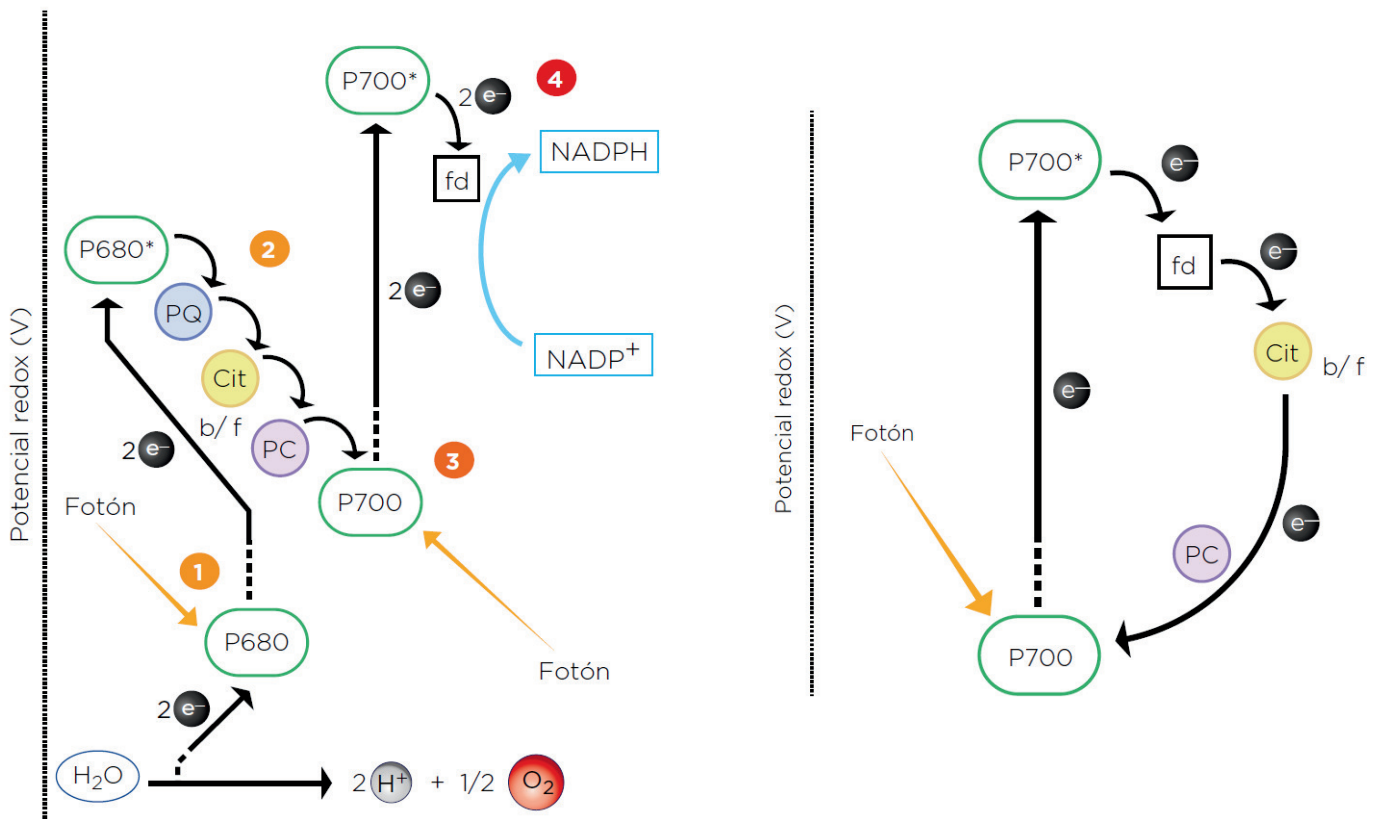


Figura 3. Esquema en Z (esquerda) que seguen os electróns dende a auga ata o NADPH durante a fase luminosa da fotosíntese. Estes electróns tamén poden seguir unha vía cíclica (dereita), na que só participa o fotosistema I

A transferencia cíclica de electróns ten lugar nalgúns bacterias que realizan a fotosíntese anosixénica e tamén é unha ruta alternativa para as células fotosintéticas eucariotas cando escasea o NADP+ ou cando se necesita un aporte extra de ATP, xa que a enerxía luminosa se emprega por completo para a síntese desta molécula.

FASE ESCURA OU BIOSINTÉTICA

Nesta fase a enerxía do ATP e o poder redutor do NADPH, sintetizados na fase luminosa, utilízanse para reducir o CO₂ e transformalo en carbohidratos, como a glicosa, a través do ciclo de Calvin-Benson que se desenvolve no estroma do cloroplasto.

Etapas

- **Fixación do CO₂.** O CO₂ atmosférico únese á pentosa ribulosa-1,5-difosfato, dando lugar a un composto inestable de seis carbonos, que se disocia en dúas moléculas de 3-fosfoglicerato. Esta reacción está catalizada pola encima ribulosa-1,5-difosfato carboxilase-oxidase, abreviada como RUBISCO (é a encima máis abundante na biosfera).
- **Redución.** Mediante o consumo de ATP e NADPH obtidos na fase luminosa, o ácido 3-fosfoglicérico é reducido a gliceraldehido-3-fosfato (GAP).
- **Rexeneración da ribulosa-1,5-difosfato.** Parte do gliceraldehido-3-fosfato é aproveitado para a síntese de compostos orgánicos, e outra parte (a maioría) é empregado para rexenerar a ribulosa-1,5-difosfato. Esta última etapa require tamén o consumo de ATP.

**De cada 6 moléculas de GAP formadas, só 1 se emprega para a síntese de materia orgánica (glicosa, frutosa, outros glícidos, lípidos, aminoácidos e bases nitroxenadas).*

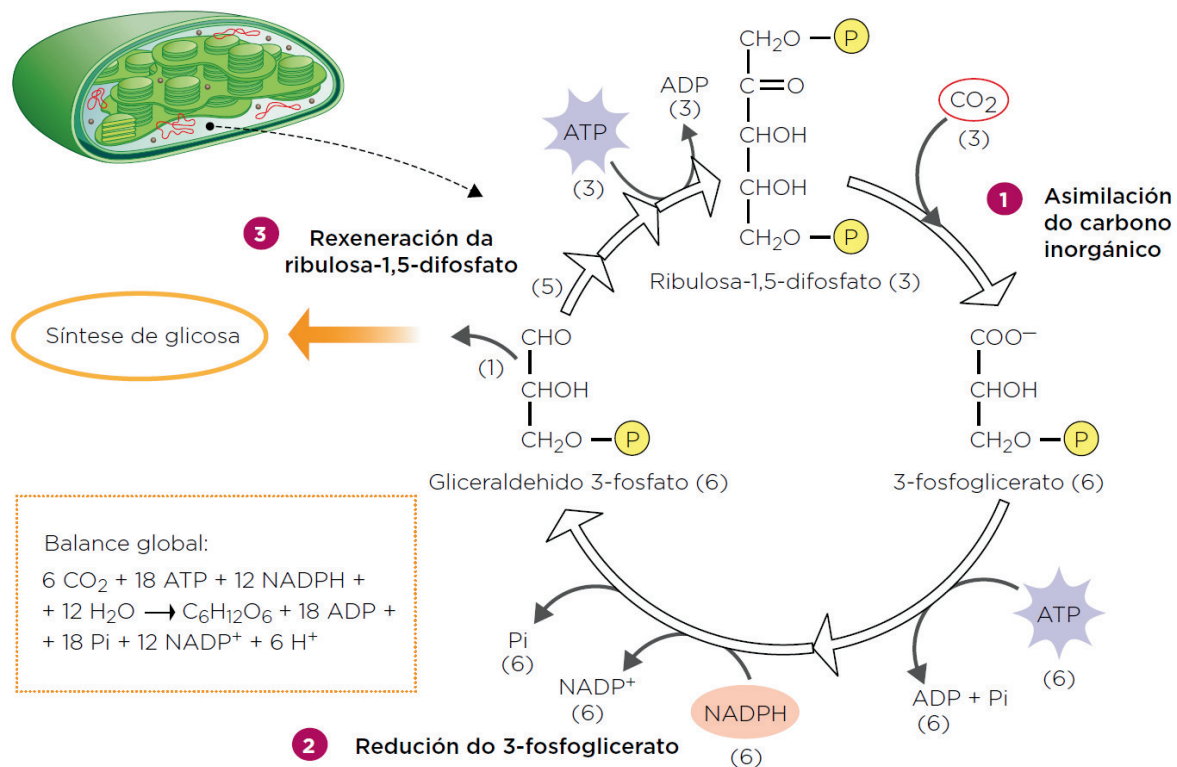
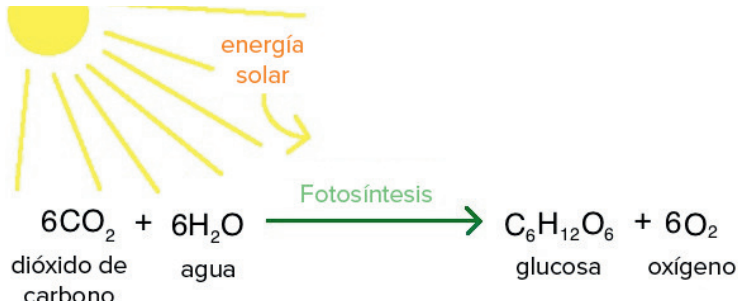


Figura 5. Etapas do ciclo de Calvin-Benson

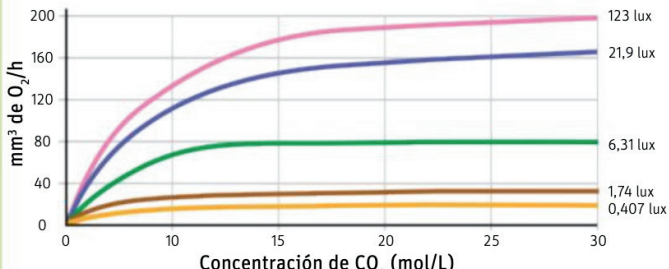
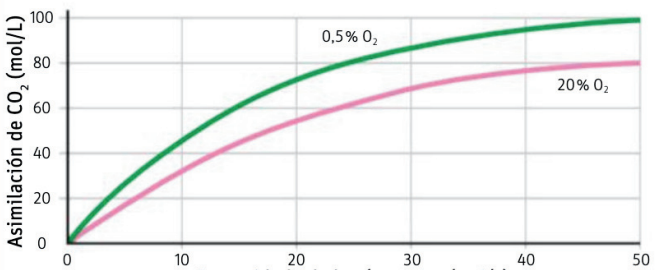
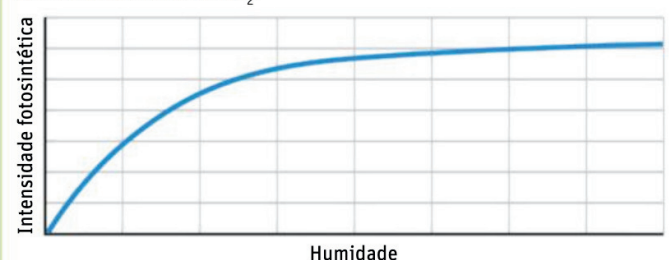
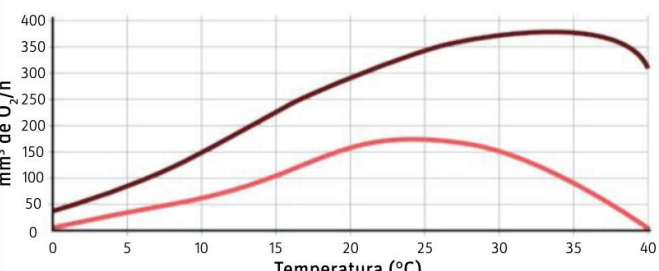
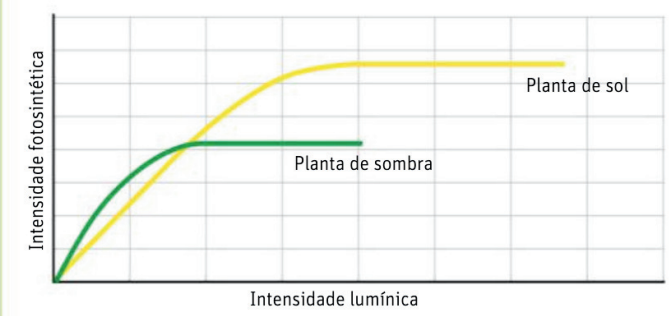
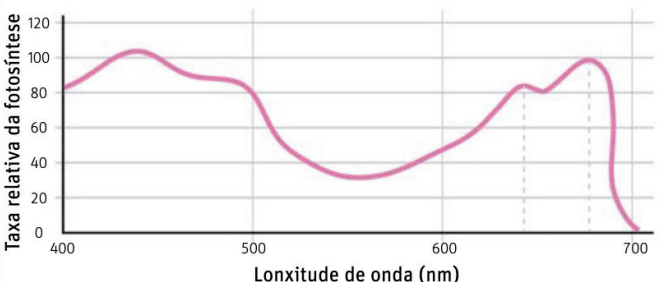
Balance total da fase escura (gasto enerxético para sintetizar glicosa)

- Fixación de 1 molécula de CO₂ --> gasto de 3 ATP e 2 NADPH
- Obtención dunha molécula de GAP --> fixación de 3 CO₂ --> gasto de 9 ATP e 6 NADPH
- Obtención dunha molécula de glicosa --> necesarias 2 moléculas de GAP (6 ciclos) nunha reacción inversa á glicólise
 - Gasto enerxético: 18 ATP
 - Gasto de poder redutor: 12 NADPH

ECUACIÓN GLOBAL DA FOTOSÍNTESE



2.2. FACTORES QUE INFLÚEN NA FOTOSÍNTESE

Concentración de CO₂ ambiental Sempre que a intensidade lumínica se mantéña constante e o suficientemente elevada, o aumento da concentración de CO₂ incrementa o rendemento da fotosíntese. Este aumento prodúcese ata alcanzar un valor de asimilación máximo (específico para cada organismo), por enriba do cal o rendemento se estabiliza.  mm³ de O₂/h Concentración de CO₂ (mol/L) 123 lux 21,9 lux 6,31 lux 1,74 lux 0,407 lux	Concentración de O₂ ambiental Cando a concentración de O₂ aumenta considerablemente no ambiente, a eficacia da fotosíntese diminúe. Isto débese á competencia que se establece entre o O₂ e o CO₂ como substratos da rubisco, o que favorece o proceso da fotorrespiración.  Asimilación de CO₂ (mol/L) Intensidade da luz (x 10⁴ erg/cm²/s) 0,5% O₂ 20% O₂
Humidade A concentración de auga, no solo e no ambiente, inflúe de maneira determinante no rendemento da fotosíntese. Ao diminuír o grao de humidade, prodúcese unha sensible redución da fotosíntese, xa que, ademais de ser necesaria como fonte de e⁻ e H⁺ na fase lumínica, se pechan os estomas para evitar perdas de auga e decrece a asimilación de CO₂.  Intensidade fotosintética Humidade	Temperatura Para as intensidades lumínicas altas, o rendemento fotosintético aumenta coa temperatura ata alcanzar un punto máximo, a partir do cal vai diminuíndo. Este punto correspóndese coa temperatura óptima da actividade das enzimas, por enriba e por debaixo da cal a actividade se reduce considerablemente.  mm³ de O₂/h Temperatura (°C)
Intensidade lumínica Para as intensidades lumínicas relativamente baixas, a fotosíntese é proporcional á intensidade da luz; pero se esta vai aumentando, chega un momento no que o rendemento se estabiliza segundo as características óptimas dos pigmentos de cada especie.  Intensidade fotosintética Intensidade lumínica Planta de sol Planta de sombra	Tipo de luz O rendemento óptimo da fotosíntese lévase a cabo cunha luz vermella ou azul. Cunha luz vermella de 680 nm absórbese bastante enerxía. Ao diminuír a lonxitude de onda a 400 nm, prodúcese unha maior absorción de enerxía. Cando a lonxitude de onda aumenta por enriba dos 680 nm, non actúa o PS II; polo tanto, o rendemento decrece ao non poder realizarse a fase escura da fotosíntese.  Taxa relativa da fotosíntese Lonxitude de onda (nm)

2.3. IMPORTANCIA DA FOTOSÍNTESE

A fotosíntese cambiou a composición da atmosfera primitiva da Terra, que era fundamentalmente anaerobia e redutora. O osíxeno liberado na fotosíntese foi orixinalmente unha substancia nociva para os seres vivos. Non obstante, estes evolucionaron e lograron empregalo no seu beneficio como aceptor último de electróns pola fosforilación oxidativa, e obter enerxía nun proceso que produce CO_2 , substrato da fotosíntese.

A fotosíntese é un proceso fundamental no equilibrio da vida na Terra, xa que:

- É o principal proceso de fixación de carbono, que permite manter o ciclo da materia nos ecosistemas, ao crear materia orgánica a partir de materia inorgánica. Esta materia orgánica será posteriormente utilizada por outros organismos para degradala e obter enerxía, xerando de novo materia inorgánica.
- O proceso libera osíxeno ao medio ambiente, que será utilizado polos organismos aerobios para respirar.
- A fotosíntese consome CO_2 , eliminándoo do medio ambiente, polo que amortece así o efecto invernadoiro da atmosfera e o cambio climático.
- É o proceso que permitiu almacenar a enerxía solar en forma de biomasa e de combustibles fósiles. É un mecanismo que transforma a enerxía luminosa en enerxía química, que é a forma na que utilizan a enerxía os seres vivos.

3. QUIMIOSÍNTESE

É un proceso anabólico mediante o cal se sintetiza materia orgánica a partir de materia inorgánica e enerxía química liberada en reaccións de oxidación de compostos inorgánicos reducidos.

Etapas

- Primeira fase: obtención de enerxía. A oxidación de compostos inorgánicos reducidos (NH_3 , H_2 , H_2S , Fe^{2+} ...), procedentes principalmente da descomposición da materia orgánica, libera enerxía química para sintetizar ATP e electróns para formar NADH.
- Segunda fase: produción de materia orgánica. Consiste na fixación do CO_2 e a obtención de compostos orgánicos utilizando o ATP e o NADH xenerados na etapa anterior nun proceso similar ó ciclo de Calvin-Benson.

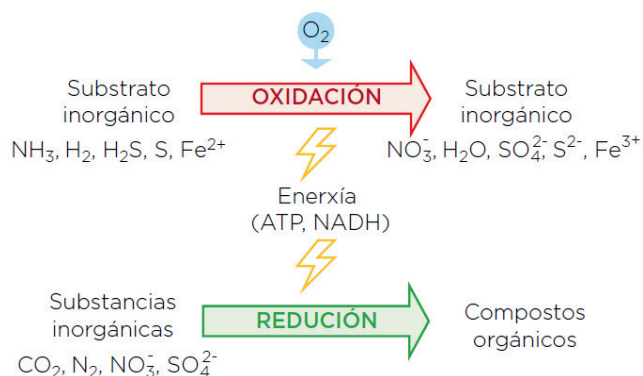


Figura 6. As bacterias quimiosintéticas viven en lugares onde achan compostos químicos con potenciais redox altos. No caso das bacterias incoloras do xofre, empregan este elemento ou sulfuro de hidróxeno. As bacterias do nitróxeno utilizan amoníaco, que transforman en nitritos e nitratos. As bacterias do ferro empregan ión ferroso, e as bacterias do hidróxeno oxidan este elemento para formar auga como produto final.

4. ANABOLISMO DOS GLÍCIDOS

4.1. SÍNTESE DE GLICOSA: GLICONEOXÉNESE

A gliconeoxénese é o proceso de biosíntese de glicosa a partir de precursores non glicídicos, como poden ser varios aminoácidos, lactato, piruvato, glicerol e calquera dos intermediarios do ciclo de Krebs. Este proceso ten lugar principalmente no citosol, aínda que algúns precursores xéranse nas mitocondrias e deben transportarse ao citosol para utilizarse.

As maioría das encimas que participan na glicólise participan tamén na gliconeoxénese, dando lugar a reaccións reversibles; só 3 delas participan de forma exclusiva nese proceso e, polo tanto, é necesaria a existencia doutras 3 encimas diferentes para o proceso gliconeoxenético.

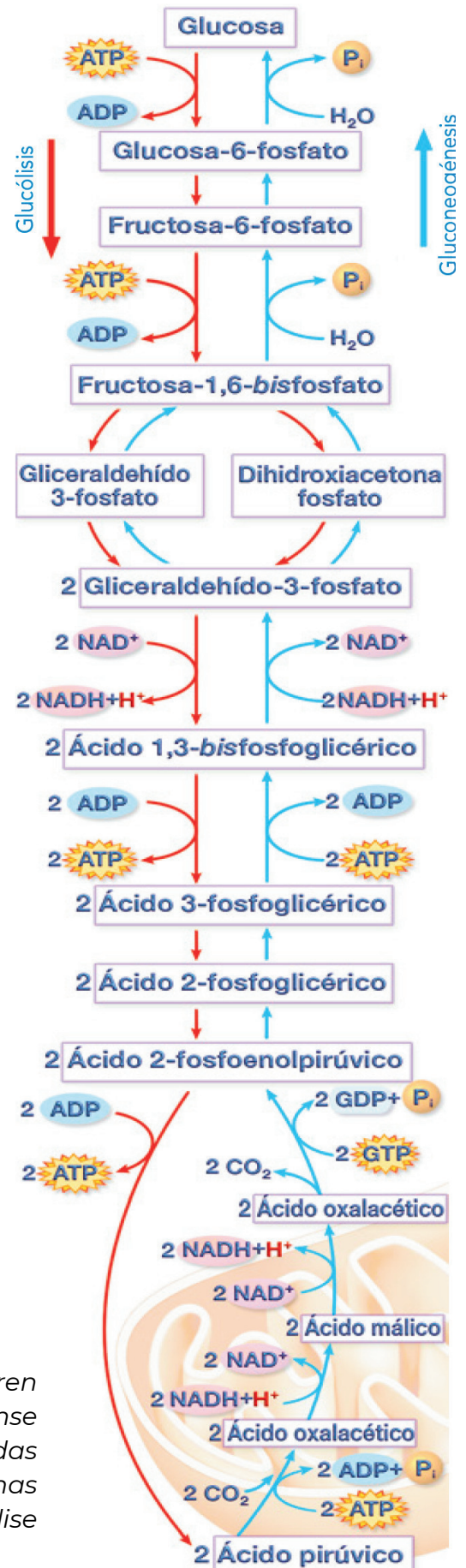
Estas reaccións irreversibles son as seguintes:

- Conversión do ácido pirúvico en fosfoenolpirúvico. Como a encima que fai o proceso inverso na glicólise só traballa nun sentido, o piruvato debe transformarse primeiro en oxalacetato e, consecutivamente, en fosfoenolpiruvato.
- Transformación de frutosa-1,6-bisfosfato en frutosa-6-fosfato
- Paso da glicosa-6-fosfato a glicosa

BALANCE ENERXÉTICO (de piruvato a glicosa)

- Paso de piruvato a fosfoenolpiruvato --> consúmense 2 ATP + 2 GTP
- Transformación de fosfoenolpiruvato en gliceraldehido-3-fosfato --> consúmense 2 ATP e 2 NADH
- Gasto total: 4 ATP + 2 GTP + 2 NADH

Figura 7. Gliconeoxénese. A maioría das reaccións ocorren no citoplasma, pero as primeiras etapas desenvólvense con participación das mitocondrias e forman parte das etapas irreversibles nas que se requiren encimas diferentes ás que interveñen na glicólise



4.2. SÍNTESIS DE POLISACÁRIDOS

GLICOXENOXÉNESE --> síntese de glicóxeno

- A glicosa-6-fosfato tranfórmase en glicosa-1-fosfato
- A glicosa-1-fosfato reacciona co UTP, dando lugar a UDP-glicosa e un grupo fosfato.
- A UDP-glicosa incorpórase á cadea de glicóxeno en formación gracias a unha glicóxeno sintasa, liberándose o UDP.

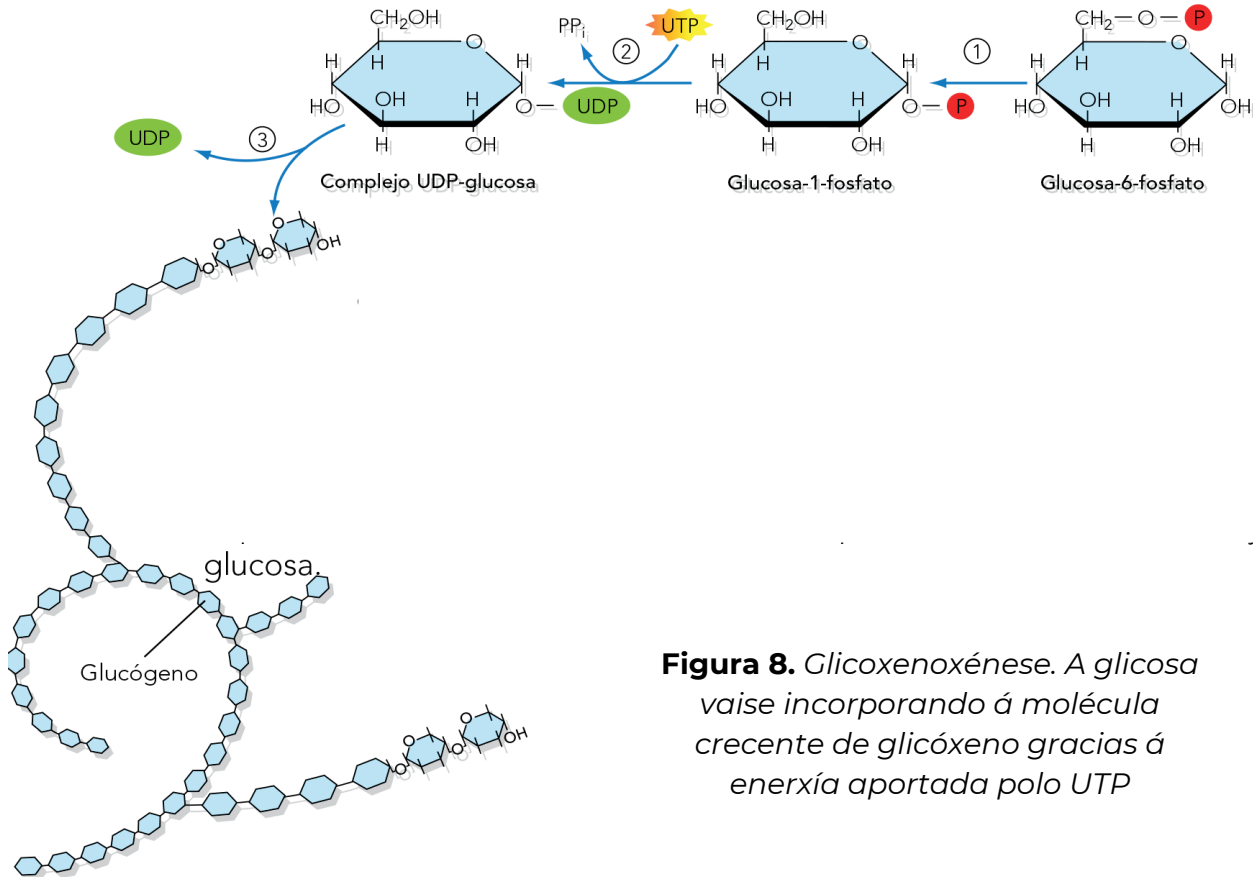


Figura 8. Glicoxenoxénese. A glicosa vaise incorporando á molécula crecente de glicóxeno gracias á enerxía aportada polo UTP

AMILOXÉNESE --> síntese de amidón

Realízase mediante un proceso similar á biosíntese de glicóxeno, pero a molécula activadora da glicosa é o ATP, que reacciona con ela para formar ADP-glicosa, a molécula que se transfire á cadea de amidón en formación.

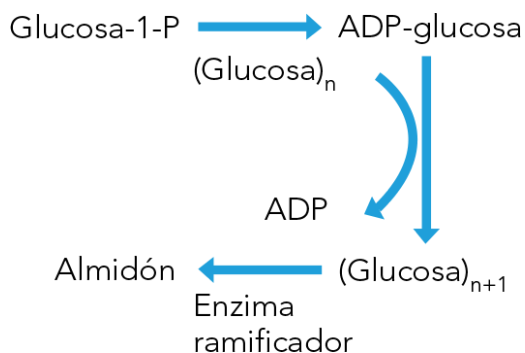


Figura 9. Reaccións que teñen lugar durante a amiloxénese para incorporar novas moléculas de glicosa á cadea de amidón en formación

5. ANABOLISMO DOS LÍPIDOS

5.1. OBTENCIÓN DE GLICERINA

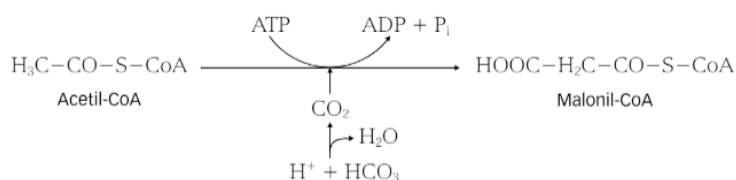
Para que a glicerina poida unirse aos ácidos graxos e formar triglicéridos (graxas), debe estar en forma de glicerol-3-fosfato. Este pode obterse de dúas formas:

- A través da redución da dihidroxiacetona-3-fosfato que se forma durante a glicólise.
- A través da fosforilación da glicerina que se forma na célula tras a hidrólise das graxas presentes nos alimentos.

5.2. SÍNTESE DE ÁCIDOS GRAXOS

Ocorre no citosol partindo do acetil-CoA, molécula de orixe mitocondrial formada a partir do catabolismo dos glúcidos, dos ácidos graxos e dos aminoácidos.

- O primeiro acetil-CoA actúa como iniciador da ruta.
- Outro acetil-CoA (2C) tranfórmase en malonil-CoA (3C) consumindo enerxía e CO₂



- O malonil-CoA únese co primeiro acetil-CoA dando lugar a unha molécula de 4C
- A molécula de 4 C sofre, de forma consecutiva, unha redución, unha deshidratación e unha nova redución (o axente redutor é o NADPH), e dá lugar a un ácido graxo de 4C
- A incorporación sucesiva de malonil-CoA permite o crecemento do ácido graxo en 2 C de cada vez.

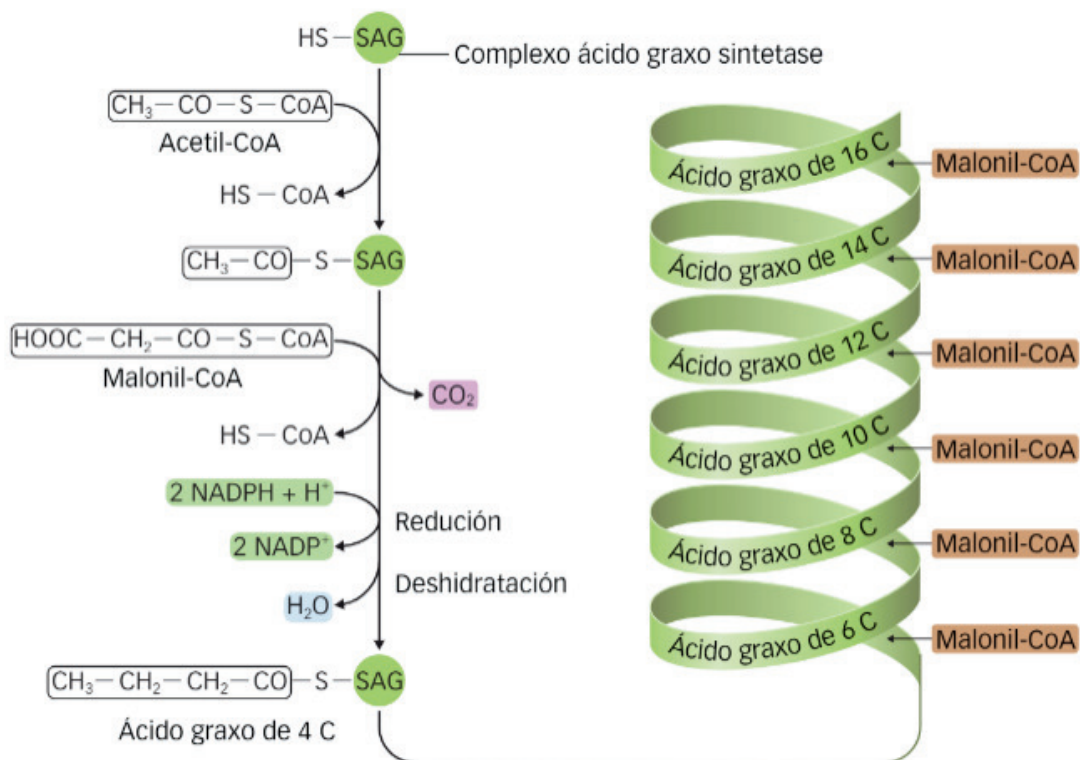


Figura 10. Síntese de ácidos graxos no citoplasma

5.3. SÍNTESIS DE TRIACILGLICÉRIDOS

As moléculas de ácidos graxos van uníndose ó glicerol-3-fosfato mediante enlaces tipo éster, formando primeiro un monoacilglicérido, despois un diacilglicérido e finalmente, coa liberación do grupo fosfato, un triacilglicérido. Este proceso lévase a cabo fundamentalmente nas células hepáticas e nos adipocitos.

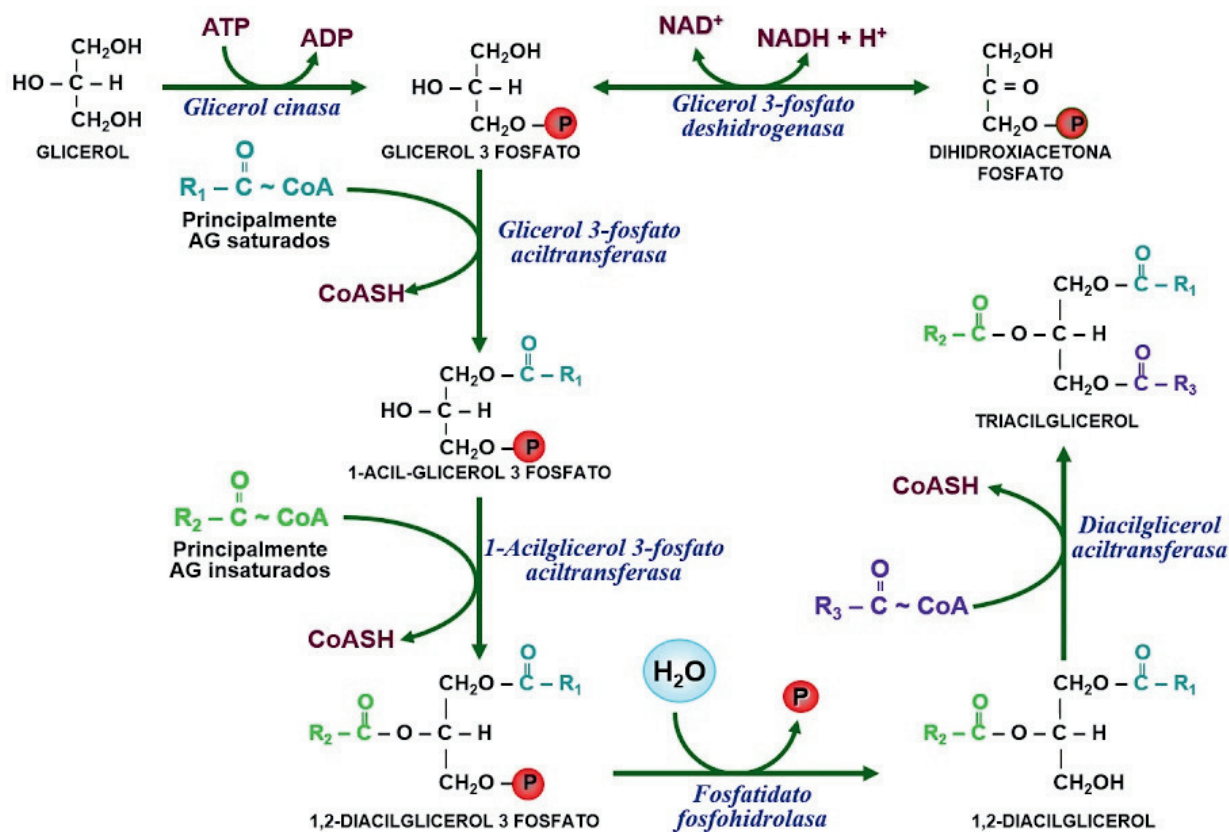


Figura 11. Formación de triacilglicéridos a partir de glicerina e 3 ácidos graxos formados na etapa anterior