Anabolismo: fotosíntesis, quimiosíntesis y anabolismo heterótrofo

Test de 10 preguntas y flashcards de este tema en farmeandopau.com ›

Última revisión: 9 de noviembre de 2026.

Escanea y haz el test del tema

LA IDEA EN 30 SEGUNDOS

En la **fotosíntesis** la energía de la luz convierte CO_2 y H_2O en materia orgánica y libera O_2. Tiene dos fases en el **cloroplasto**: la **dependiente de la luz**, en las **membranas de los tilacoides** (los **fotosistemas II y I** captan luz, la **fotólisis del agua** da electrones y O_2, y se forman **ATP** y **NADPH**), y la **independiente de la luz** o **ciclo de Calvin**, en el **estroma**, donde la **RuBisCO** fija el CO_2 con ese ATP y NADPH. La **quimiosíntesis** fija CO_2 con la energía de **oxidar sustancias inorgánicas**. El **anabolismo heterótrofo** fabrica glucosa, glucógeno, ácidos grasos y proteínas con la energía del catabolismo.

1 La fotosíntesis: qué es, ecuación y nombres de las fases

- **Fotosíntesis**: proceso **anabólico autótrofo** en el que la **energía luminosa** se transforma en **energía química** (ATP y NADPH) que se usa para reducir el **CO_2** y fabricar **materia orgánica**. La hacen plantas, algas y cianobacterias (y otras bacterias, sin liberar O_2).
- **Ecuación global** de la fotosíntesis oxigénica:

$$6\,CO_2 + 12\,H_2O \xrightarrow{\text{luz}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 + 6\,H_2O$$

  Simplificada:

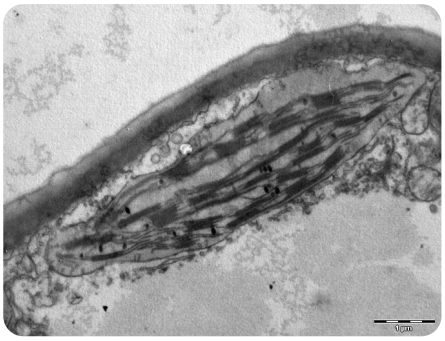
$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

  La forma con 12 H_2O deja claro que **todo el O_2 sale del agua**, como demostraron en 1941 los experimentos con el isótopo ^{18}O.
- **Oxigénica**: el dador de electrones es el **H_2O** y se libera O_2 (plantas, algas, **cianobacterias**). **Anoxigénica**: el dador es otro (**H_2S**, H_2 o materia orgánica) y **no** se libera O_2; tienen un solo fotosistema y bacterioclorofilas (bacterias **púrpuras** y **verdes**). Andalucía y Madrid piden los dos tipos.
- **Importancia**: es la **entrada de materia y energía** en casi todos los ecosistemas (producción primaria), fija el CO_2 atmosférico, produjo y mantiene el **O_2** de la atmósfera (y con él la capa de ozono) y es el origen de los combustibles fósiles.
- **Fase dependiente de la luz** (fotoquímica, «luminosa»): en las **membranas de los tilacoides**. **Fase independiente de la luz** (de fijación del CO_2, biosintética, **ciclo de Calvin**, «oscura»): en el **estroma**. **Madrid pide evitar «fase luminosa» y «fase oscura»**; Castilla-La Mancha, Murcia, Asturias y Castilla y León sí las usan.

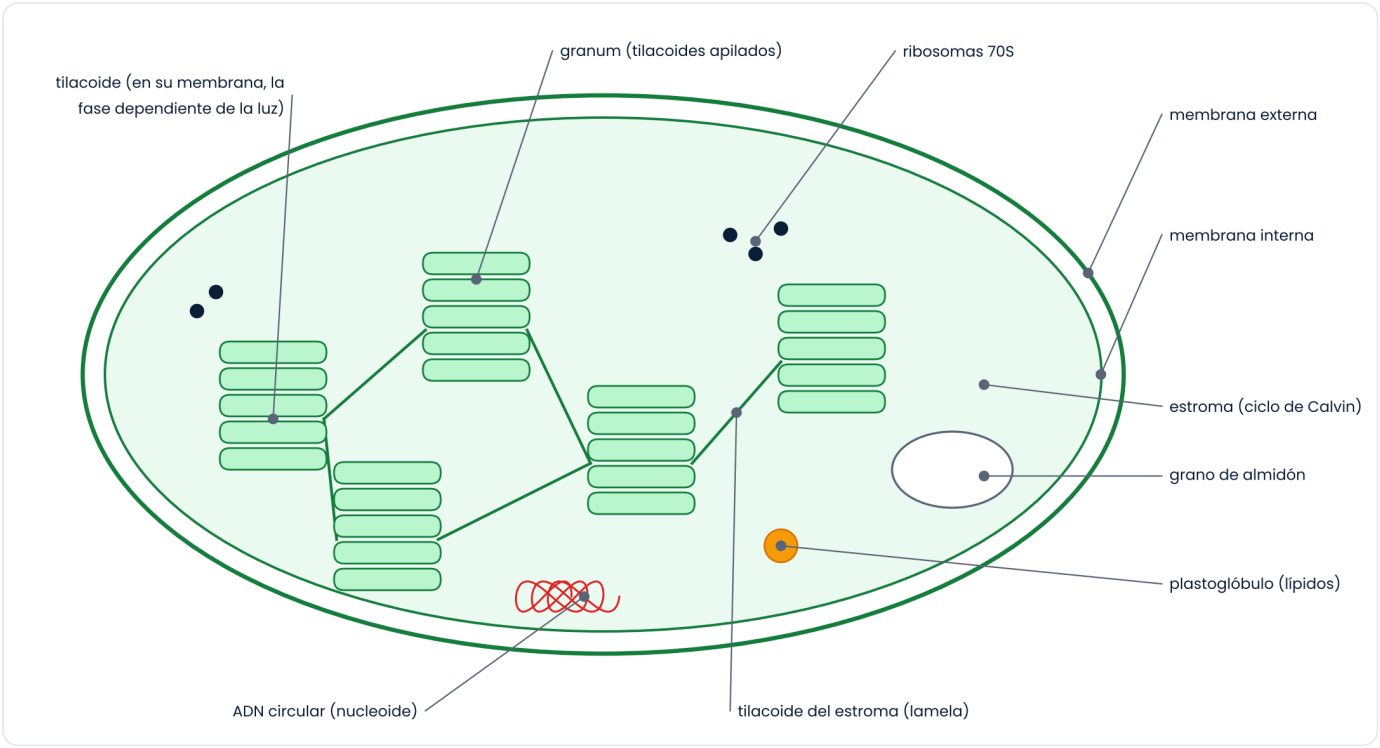
- El ciclo de Calvin **no ocurre de noche**: aunque no usa la luz directamente, necesita el ATP y el NADPH recién hechos y varias de sus enzimas (la RuBisCO entre ellas) **se activan con la luz**. Por eso «oscura» confunde (La Rioja preguntó cuándo ocurre cada fase en 24 horas).

2 El cloroplasto, los pigmentos y los fotosistemas

- **Cloroplasto**: **doble membrana** (externa e interna), **estroma** (con ADN circular, **ribosomas 70S**, enzimas del ciclo de Calvin y granos de **almidón**) y **tilacoides**, sacos aplanados que se apilan en **grana** (singular, **granum**) unidos por tilacoides del estroma (**lamelas**). El interior del tilacoide es el **lumen** (espacio tilacoidal).
- En la **membrana de los tilacoides** están los pigmentos, los fotosistemas, la cadena de transporte de electrones y la **ATP sintasa**. Es un **tercer sistema de membranas**, distinto de la envoltura: no lo confundas con la doble membrana externa al rotular una micrografía (Galicia, Cantabria y País Vasco dan micrografías de cloroplasto).
- **Pigmentos**: **clorofila a** (la que hace la fotoquímica en los centros de reacción), **clorofila b** y **carotenoides** (carotenos y xantofilas). Las clorofilas absorben sobre todo **azul y rojo** y reflejan el **verde**; los carotenoides amplían el espectro y **protegen** de los daños por exceso de luz.
- **Fotosistema**: complejo de proteínas y pigmentos de la membrana tilacoidal con un **complejo antena** (cientos de pigmentos que captan la luz y pasan la energía por resonancia) y un **centro de reacción** con un par especial de **clorofila a** que, excitado, **cede un electrón** a un **aceptor primario** (Castilla y León, 2025: «¿Qué es un fotosistema?»).
- **Fotosistema II**: su centro de reacción es **P680** (absorbe mejor a 680 nm); está sobre todo en los grana y oxida el agua.
  Fotosistema I: centro **P700**; abunda en los tilacoides del estroma y reduce el $NADP^+$. Se numeran por orden de descubrimiento, no por orden de actuación.
- Origen **endosimbiótico** (cianobacteria): ADN propio, ribosomas 70S, doble membrana y división por bipartición (Temas 9 y 11).



Cloroplasto de una hoja de *Anemone* al **microscopio electrónico de transmisión** (12 000 aumentos en el original). Se ven los **grana** (tilacoides apilados, bandas oscuras), los tilacoides del estroma que los unen el **estroma**, más claro, y unos puntos negros, los **plastoglóbulos** (gotitas de lípidos). La barra de escala mide 1 µm.

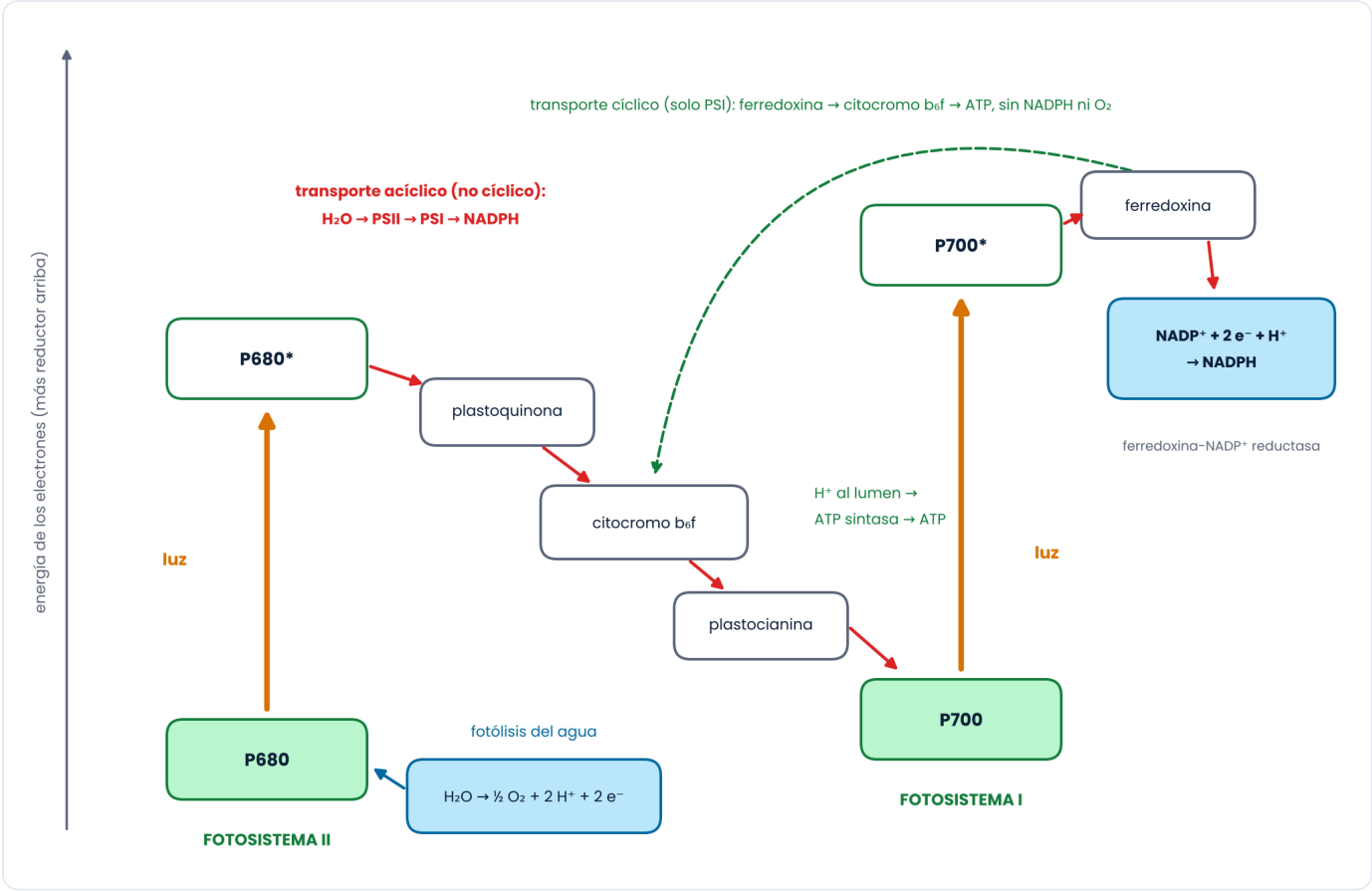


Esquema del cloroplasto con las estructuras que piden rotular (Murcia, Galicia, Comunitat Valenciana, País Vasco: al menos cuatro o cinco). La fase dependiente de la luz ocurre en la membrana de los tilacoides; el ciclo de Calvin, en el estroma.

3 Fase dependiente de la luz: el transporte acíclico (esquema en Z)

Galicia pide explicar el **esquema en Z**; Andalucía, Canarias y Madrid dan un esquema con números para identificar. No hace falta saber todos los transportadores (lo dicen Andalucía, Asturias, Madrid y Murcia), pero sí el recorrido.

- La luz excita el **P680** del **fotosistema II**, que cede un electrón a la cadena. El P680 queda oxidado ($P680^+$) y es tan oxidante que **arranca electrones al agua**.
- **Fotólisis del agua** (en el lado del **lumen**, por el complejo que contiene manganeso del PSII): $H_2O \rightarrow 2\,H^+ + 2\,e^- + \frac{1}{2}\,O_2$. Los **electrones** reponen los del P680, los **protones** se quedan en el lumen (suman al gradiente) y el **O_2** se libera: es todo el oxígeno de la fotosíntesis.
- Los electrones bajan por **plastoquinona → citocromo b_6f → plastocianina** hasta el **P700** del **fotosistema I**. El citocromo b_6f usa esa energía para **bombear protones del estroma al lumen**.
- La luz excita el **P700**, que cede los electrones a la **ferredoxina**; la enzima **ferredoxina-$NADP^+$ reductasa** forma **NADPH** en el **estroma**.
- Resultado del transporte **acíclico** (no cíclico): **NADPH, ATP** (fotofosforilación, siguiente sección) **y O_2**. Intervienen **los dos fotosistemas**. El dador inicial es el **H_2O** y el aceptor final, el **$NADP^+$**.
- La llamada **Z** es la forma del dibujo cuando se ordenan los transportadores por su energía: dos subidas (las dos excitaciones por la luz, en PSII y PSI) y dos bajadas.



Esquema en Z del transporte acíclico. La luz sube de energía los electrones en el PSII (P680 → P680*) y otra vez en el PSI (P700 → P700*)*. El agua repone los electrones del PSII y libera O_2; la cadena intermedia bombea protones y el final reduce el $NADP^+$ a NADPH. En verde discontinuo, el transporte cíclico: de la ferredoxina vuelven al citocromo b_6f. La ferredoxina-$NADP^+$ reductasa forma el NADPH.

4 Fotofosforilación: quimiósmosis en el tilacoide y transporte cíclico

- **Fotofosforilación**: síntesis de ATP con la energía de la luz. Se explica con la **teoría quimiosmótica** de Mitchell, igual que en la mitocondria (Tema 13).
- El **gradiente de protones** se forma porque entran H^+ en el **lumen** por la **fotólisis del agua** y por el **bombeo del citocromo b_6f**, y salen del estroma al formarse el NADPH. El lumen llega a un pH de unos **5** y el estroma, de unos **8**.
- Los H^+ vuelven al **estroma a favor de gradiente** por la **ATP sintasa** (CF_o en la membrana, **CF_1 hacia el estroma**), que forma **ATP en el estroma**, justo donde lo necesita el ciclo de Calvin.
- **Transporte cíclico**: solo interviene el **fotosistema I**. Los electrones de la ferredoxina **vuelven al citocromo b_6f** y de ahí al P700: se bombean protones y se forma **ATP**, pero **no NADPH ni O_2** y no se rompe agua.
- Para qué sirve el cíclico: el ciclo de Calvin gasta **3 ATP por cada 2 NADPH** y el acíclico no da tanto ATP; el cíclico **completa el ATP que falta**.
- La mitocondria y el cloroplasto fabrican ATP igual, pero al revés en el espacio: en la mitocondria los H^+ se acumulan en el **espacio intermembrana** y el ATP se forma en la **matriz**; en el cloroplasto se acumulan en el **lumen** y el ATP se forma en el **estroma**.

Acíclica (no cíclica)

- **PSII y PSI**
- Dador: **H_2O** (fotólisis)
- Aceptor final: **$NADP^+$**
- Produce **ATP, NADPH y O_2**

Cíclica

- **Solo PSI**
- Los electrones vuelven al P700
- Sin fotólisis del agua
- Produce **solo ATP** (ni NADPH ni O_2)

ASTURIAS · PAU 2025 ORDINARIA · PREGUNTA 4, OPCIÓN A (2,5 PUNTOS)

Fotosíntesis y respiración son procesos inversos y complementarios. Mediante la fotosíntesis algunas células son capaces de sintetizar carbohidratos utilizando la energía solar y mediante la respiración casi todas las células son capaces de obtener energía a partir de los productos de la fotosíntesis.

1) Indica qué elementos derivan directamente de fotolisis de una molécula de agua durante la fotosíntesis y para qué se utiliza cada uno de esos elementos. (1 punto)

2) Explica cómo y dónde se genera en una célula vegetal eucariota el gradiente electro-químico que permite transformar la energía luminosa en energía química. (1 punto)

3) Indica el nombre y la localización celular del enzima que cataliza el primer paso de la fijación del CO2 en células vegetales eucariotas. (0,5 puntos)

Apartado 1)

1. Fotólisis: $\mathrm{H_2O \rightarrow 2\,H^+ + 2\,e^- + \tfrac{1}{2}\,O_2}$.
2. **Protones**: se quedan en el lumen del tilacoide y contribuyen al **gradiente electroquímico** que usa la ATP sintasa (fotofosforilación).
3. **Electrones**: reponen los que perdió el P680 del **fotosistema II** y viajan por la cadena hasta reducir el $NADP^+$ a **NADPH** (poder reductor).
4. **Oxígeno**: no se usa en la fotosíntesis; se **libera** a la atmósfera (o lo usan las mitocondrias de la propia célula).

SOLUCIÓN 2 H^+ (gradiente para el ATP), 2 e^- (reponen el PSII y acaban formando NADPH) y ½ O_2 (se libera).

Apartado 2)

1. La luz excita el pigmento del centro de reacción del **fotosistema II**, que cede electrones a una **cadena de transportadores** de la **membrana de los tilacoides**.
2. Al pasar por la cadena (citocromo b_6f), la energía de los electrones se usa para **bombear protones en contra de gradiente** del **estroma al interior (lumen) del tilacoide**; además, la fotólisis deja más H^+ en el lumen.
3. Así se forma el gradiente electroquímico; los H^+ vuelven al estroma **a favor de gradiente** por la **ATP sintasa**, que forma ATP.

SOLUCIÓN En la **membrana del tilacoide**: el transporte de electrones bombea H^+ del estroma al lumen; el gradiente impulsa la ATP sintasa.

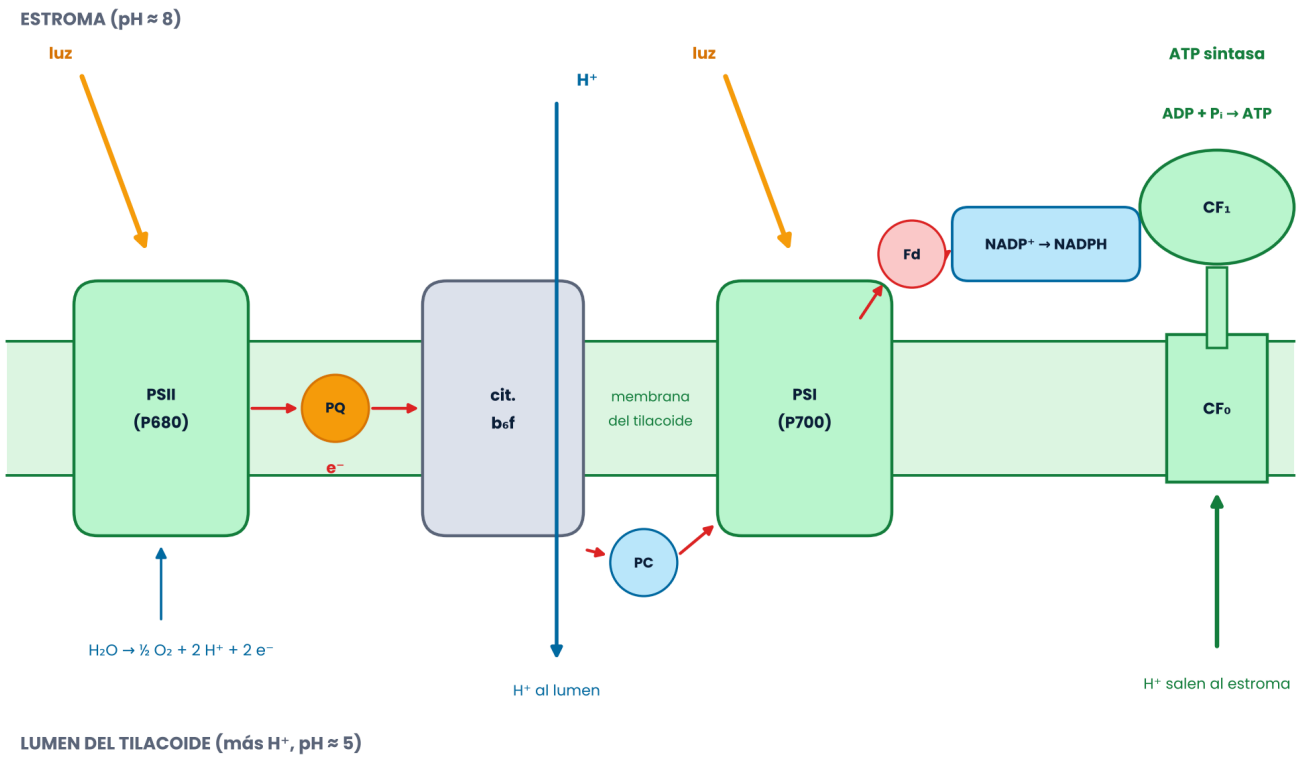
Apartado 3)

1. La enzima es la **ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa** (**RuBisCO**), que une el CO_2 a la ribulosa-1,5-bisfosfato.
2. Está en el **estroma del cloroplasto**.

SOLUCIÓN RuBisCO, en el estroma del cloroplasto.

Lo que puntúa. Criterios de Asturias: en el apartado 2 «Será imprescindible mencionar la transferencia de electrones, el bombeo de protones en contra de gradiente y la ubicación en la membrana del tilacoide»; sin el tilacoide, 0,25 de 0,5. En el 3, si falta «estroma del cloroplasto», 0,25.

Error típico que te quita puntos. Decir que el gradiente se forma «en el cloroplasto» sin más, o que los protones se bombean hacia el estroma (es al revés: del estroma al lumen).



La fase dependiente de la luz en la membrana del tilacoide. PSII, citocromo b_6f y PSI, con la plastoquinona (PQ), la plastocianina (PC, en el lumen) y la ferredoxina (Fd, en el estroma). Los protones se acumulan en el lumen (fotólisis y bombeo del b_6f) y vuelven al estroma por la ATP sintasa, que forma ATP en el estroma.

5 Fase independiente de la luz: el ciclo de Calvin

En casi todas las comunidades basta con las tres etapas, la RuBisCO, el balance y de dónde salen el ATP y el NADPH (Andalucía, Asturias y Madrid: «sin detallar las reacciones intermedias»).

- **Dónde**: en el **estroma** del cloroplasto (en las cianobacterias, en el citosol). Lo describió **Melvin Calvin** con CO_2 marcado con ^{14}C (**Nobel de Química de 1961**).
- **1. Fijación (carboxilación)**: la **RuBisCO** une el **CO_2** a la **ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBP, 5 C)**; el compuesto de 6 C se rompe al instante en **dos 3-fosfoglicerato (3 C)**. Por eso estas plantas se llaman **C3**.

- **2. Reducción**: el 3-fosfoglicerato se fosforila con **ATP** y se reduce con **NADPH** a **gliceraldehído-3-fosfato (G3P)**, una triosa.
- **3. Regeneración**: de cada 6 G3P, **5** se reorganizan (gastando ATP) para **regenerar 3 RuBP**, y **1 sale** del ciclo como ganancia neta.
- **Balance**: cada CO_2 cuesta **3 ATP y 2 NADPH**. Por 3 CO_2 → 1 G3P: **9 ATP y 6 NADPH**. Por una **glucosa** (6 CO_2): **18 ATP y 12 NADPH**.
- El G3P sirve para hacer **glucosa y almidón** (en el estroma, la reserva del cloroplasto), **sacarosa** (en el citosol, la forma en que el azúcar viaja por el floema), celulosa, y también ácidos grasos y aminoácidos.
- **RuBisCO**: probablemente la **proteína más abundante** de la biosfera; es **lenta** (unas pocas reacciones por segundo) y también reacciona con el **O_2** (actividad **oxigenasa**, fotorrespiración). Tiene **mucha más afinidad por el CO_2** (Km mucho menor) que por el O_2 (Comunitat Valenciana).

	Fase dependiente de la luz	Ciclo de Calvin
Dónde	Membrana de los tilacoides	Estroma
Entra	Luz, H_2O, $NADP^+$, ADP + P_i	CO_2, ATP, NADPH
Sale	O_2, NADPH, ATP	G3P (glúcidos), $NADP^+$, ADP + P_i
Proceso clave	Fotólisis del agua, transporte de electrones, fotofosforilación	Fijación del CO_2 por la RuBisCO, reducción, regeneración de la RuBP
Energía	Luminosa → química (ATP, NADPH)	Usa ATP y NADPH para reducir el CO_2

Las dos fases dependen una de la otra: sin ATP y NADPH el ciclo de Calvin se para, y sin $NADP^+$ y ADP que devuelva el ciclo, el transporte de electrones también (Canarias, 2026).

PREGUNTA RESUELTA

Castilla y León · PAU 2025 ordinaria · 3.2.B: «a) ¿Por qué necesitan agua los cloroplastos? Razone la respuesta. (0,8) b) ¿Qué es un fotosistema? (0,5) c) ¿Cuántas moléculas de CO2 se tendrán que incorporar al ciclo de Calvin para dar lugar a una molécula de sacarosa? (0,2)»

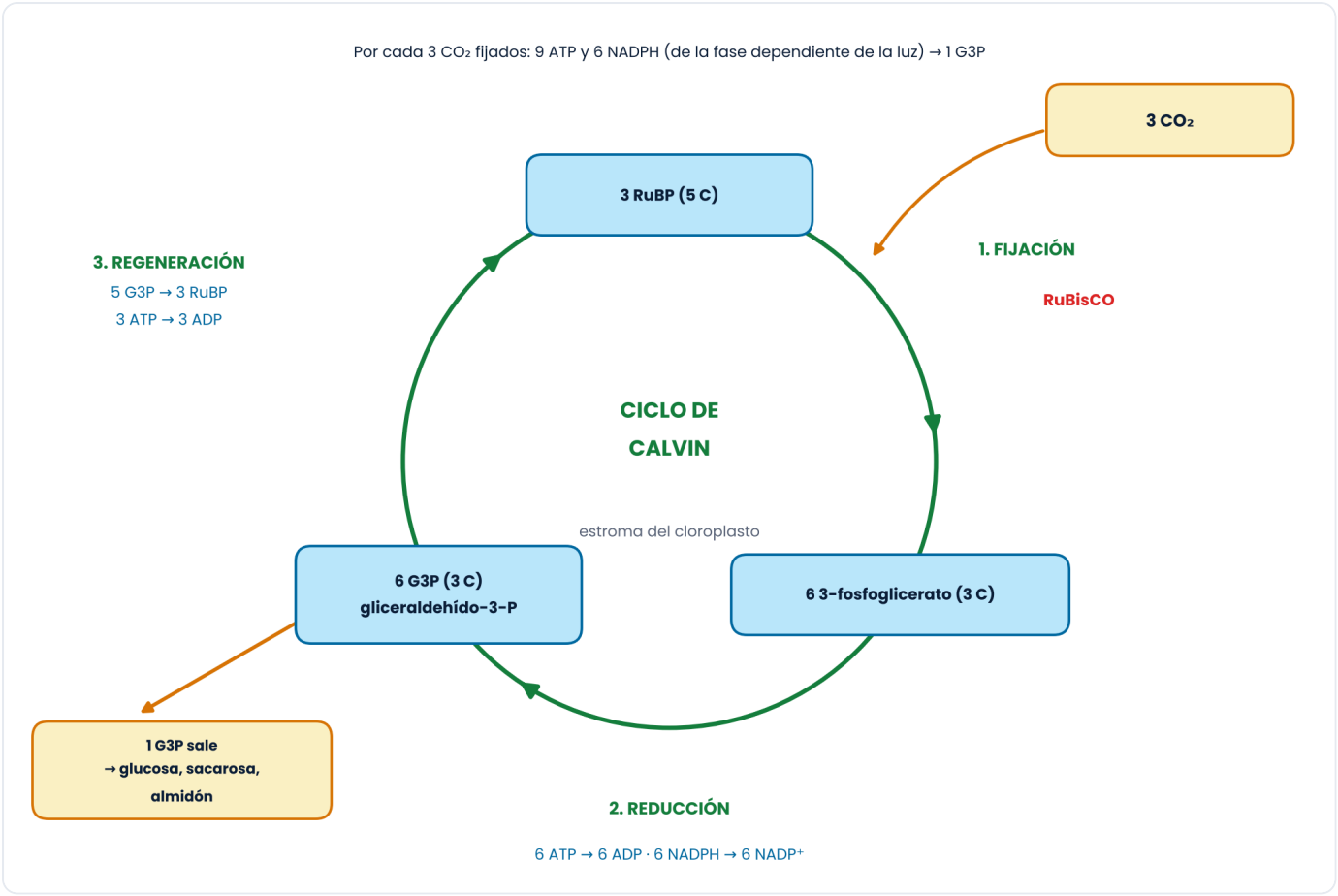
Respuesta modelo

a) Porque el **agua es el dador de electrones** de la fotosíntesis oxigénica. En la fase dependiente de la luz, el P680 del fotosistema II, al excitarse, pierde electrones; los repone rompiendo agua (**fotólisis**: $H_2O \rightarrow 2\ H^+ + 2\ e^- + ½\ O_2$). Esos electrones acaban reduciendo el $NADP^+$ a **NADPH**, los protones contribuyen al gradiente que forma **ATP** y se libera **O_2**. Sin agua no habría NADPH ni ATP para el ciclo de Calvin. (Además, el agua es el medio de las reacciones del estroma.)

b) Un **fotosistema** es un complejo de proteínas y pigmentos de la **membrana de los tilacoides** formado por un **complejo antena**, que capta la luz y transfiere la energía, y un **centro de reacción** con un par de clorofilas a que, excitado, cede un electrón a un aceptor primario. Hay dos: el **PSII (P680)** y el **PSI (P700)**.

c) La sacarosa es un disacárido de **12 C** (glucosa + fructosa). Cada vuelta del ciclo fija un CO_2 (un carbono), así que hacen falta **12 CO_2** (dos hexosas de 6 CO_2 cada una).

Por qué puntúa. En a) puntúa explicar el papel del agua como dador de electrones (fotólisis, PSII, NADPH), no solo «para la fotosíntesis». En c) hay que contar carbonos: $C_{12}H_{22}O_{11}$.



Ciclo de Calvin con sus tres etapas. Por cada 3 CO_2 fijados por la RuBisCO salen 6 moléculas de 3-fosfoglicerato, que se reducen a 6 G3P con 6 ATP y 6 NADPH; 5 G3P regeneran 3 RuBP con otros 3 ATP y 1 G3P queda para fabricar glúcidos.

6 Factores que influyen en la fotosíntesis

- La **velocidad** de la fotosíntesis se mide por el **O_2 liberado** (burbujas de una planta acuática como *Elodea*) o por el **CO_2 fijado**. Lo que mide el aparato es la **fotosíntesis neta**: la fotosíntesis menos la respiración de la propia planta.
- **Intensidad de luz**: la fotosíntesis aumenta con la luz hasta un **punto de saturación** (lo que limita entonces es otra cosa: el CO_2 o la RuBisCO). Con muy poca luz, la planta respira más de lo que fotosintetiza; el **punto de compensación** es la intensidad en la que las dos se igualan (intercambio neto de gases nulo).
- **Concentración de CO_2**: aumenta la fotosíntesis hasta que la **RuBisCO se satura**; a partir de ahí, más CO_2 no la acelera (la gráfica de Madrid de 2027). En rigor, a CO_2 alto también limita la regeneración de la RuBP, que depende del ATP y el NADPH de la luz.
- **Temperatura**: la fase de Calvin es enzimática: la velocidad sube hasta una **temperatura óptima** y luego cae porque las **enzimas se desnaturalizan**, se cierran los estomas y aumenta la fotorrespiración.
- **Concentración de O_2**: mucho O_2 **disminuye** la fotosíntesis neta porque compite con el CO_2 en la RuBisCO (fotorrespiración).
- **Agua**: con **sequía** los estomas se cierran para no perder agua, entra menos CO_2 y la fotosíntesis cae (Navarra, 2026).
- **Color de la luz**: es más eficaz la luz **azul y roja**, la que absorben las clorofilas; la verde se aprovecha poco.
- Cuando un proceso depende de varios factores, lo limita el que está **en menor proporción** (**factor limitante**).

CATALUÑA · PAU 2025 ORDINARIA, EXAMEN DE RESERVA · EJERCICIO 2, APARTADOS C, D Y E

El alumnado de segundo de bachillerato ha utilizado un laboratorio virtual para experimentar con dos factores que afectan a la fotosíntesis: el flujo luminoso y la temperatura. [...] Cuando se inicia la simulación, se van visualizando las burbujas que aparecen.

El alumnado ha ido variando los valores de flujo luminoso y de temperatura y ha recogido los resultados en la siguiente tabla. Ha llegado a la conclusión de que el número de burbujas por unidad de tiempo es una medida indirecta de la velocidad de la fotosíntesis.

[Tabla: tiempo (en segundos) que tarda en aparecer cada burbuja. A 1 000 lúmenes: 10 °C → 0, 6, 12, 18, 24 y 30 s; 25 °C → 0, 3, 5, 8, 11 y 13 s; 40 °C → 0, 6, 12, 18, 24 y 30 s. A 3 000 lúmenes: 10 °C → 0, 3, 6, 10, 13 y 16 s; 25 °C → 0, 1, 3, 5, 6 y 8 s; 40 °C → 0, 3, 6, 10, 13 y 16 s.]

c) [El número de burbujas por unidad de tiempo es una medida indirecta de la velocidad de la fotosíntesis.] Justifique esta afirmación a partir de la reacción global de la fotosíntesis. (0,5 puntos)

d) ¿Qué conclusiones se pueden obtener respecto a la influencia del flujo luminoso en la velocidad de la fotosíntesis? Justifique la respuesta a partir de los valores de la tabla del apartado c. (0,5 puntos)

e) ¿Qué conclusiones se pueden obtener respecto a la influencia de la temperatura en la velocidad de la fotosíntesis? Justifique la respuesta a partir de los valores de la tabla. (0,5 puntos)

Apartado c)

1. Reacción global:

$$6\,CO_2 + 12\,H_2O \xrightarrow{\text{luz}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 + 6\,H_2O$$

2. Las burbujas son **O_2**, uno de los **productos**: por cada glucosa se liberan 6 O_2. Cuanto más rápido ocurre la reacción, más O_2 se forma por segundo, así que la velocidad de aparición de burbujas refleja la velocidad de la fotosíntesis.

SOLUCIÓN El O_2 es un producto de la reacción global: su velocidad de formación mide la velocidad de la fotosíntesis.

Apartado d)

1. Comparamos el tiempo hasta la **sexta burbuja** a la misma temperatura.
2. A 10 °C: **30 s** a 1 000 lúmenes y **16 s** a 3 000. A 25 °C: **13 s** y **8 s**. A 40 °C: **30 s** y **16 s**.
3. En velocidades, como hacen los criterios (6 burbujas ÷ tiempo): a 25 °C, 6/13 ≈ 0,46 burbujas/s frente a 6/8 = 0,75 burbujas/s. (En rigor, entre la primera burbuja, en 0 s, y la sexta hay 5 intervalos: 5/13 ≈ 0,38 y 5/8 ≈ 0,63 burbujas/s; la conclusión es la misma.)

SOLUCIÓN **Al aumentar el flujo luminoso aumenta la velocidad de la fotosíntesis** a todas las temperaturas: con 3 000 lúmenes se tarda bastante menos en formar las mismas burbujas (16 s frente a 30 s a 10 °C y a 40 °C; 8 s frente a 13 s a 25 °C).

Apartado e)

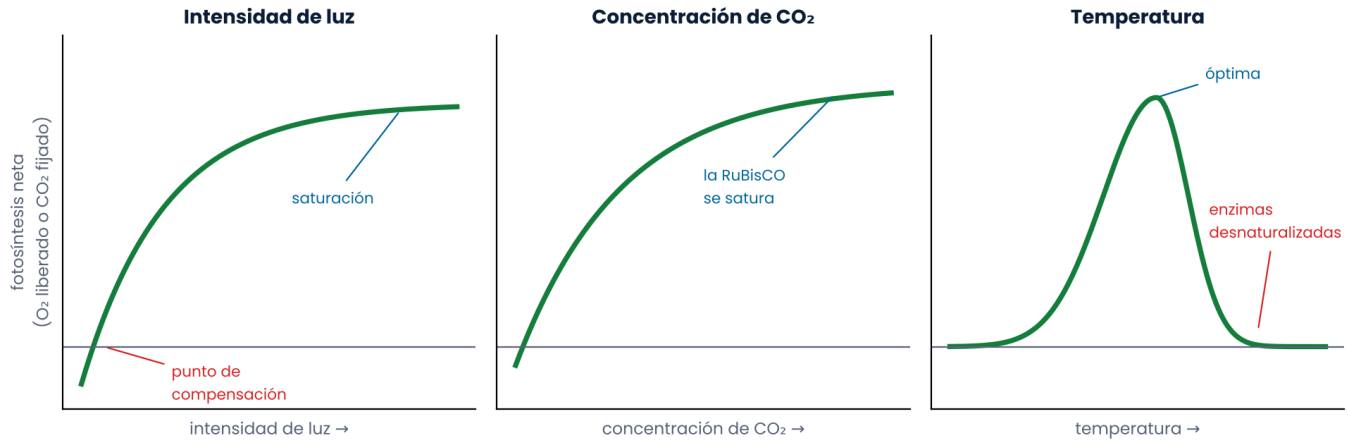
1. Comparamos a igual flujo luminoso.

2. A 1 000 lúmenes: **30 s** a 10 °C y a 40 °C, solo **13 s** a 25 °C. A 3 000 lúmenes: **16 s** a 10 °C y a 40 °C, solo **8 s** a 25 °C.
3. Explicación: las enzimas (sobre todo las del ciclo de Calvin) van más despacio con frío; por encima del óptimo empiezan a desnaturalizarse.

SOLUCIÓN La velocidad es **máxima a 25 °C** y menor a 10 °C y a 40 °C: hay una **temperatura óptima** (de las tres probadas, 25 °C).

Lo que puntúa. Criterios: en c) 0,25 por la reacción y 0,25 por justificar que el O_2 es un producto. En d) y e), 0,2 por la conclusión y 0,3 por justificarla con «como mínimo, un ejemplo con los datos de la simulación». (Los criterios oficiales escriben 18 s a 3 000 lúmenes en lugar de los 16 s de la tabla: es una errata.)

Error típico que te quita puntos. Dar la conclusión sin citar ningún dato de la tabla: se pierden 0,3 de cada 0,5.



Factores de la fotosíntesis (curvas ilustrativas). Con la luz y el CO_2 la velocidad sube hasta saturarse; con poca luz la fotosíntesis neta es negativa (punto de compensación). Con la temperatura hay un óptimo y una caída rápida cuando las enzimas se desnaturalizan.

7 Fotorrespiración y plantas C4 y CAM

Solo lo piden en La Rioja (2025 y 2026); Castilla-La Mancha dice expresamente que **no exige la fotorrespiración**. En el resto, basta con saber que la RuBisCO también reacciona con el O_2.

- **Fotorrespiración**: cuando hay **mucho O_2 y poco CO_2** (calor, sequía, estomas cerrados), la RuBisCO actúa como **oxigenasa**: une **O_2** a la RuBP y forma un 3-fosfoglicerato y un **2-fosfoglicolato** (2 C) que no sirve para el ciclo.
- Recuperar ese carbono exige una ruta entre **cloroplasto, peroxisoma y mitocondria** que **consume ATP** y **libera CO_2** ya fijado, sin producir ATP ni NADPH. De cada dos fosfoglicolatos se pierde un CO_2 (una cuarta parte de su carbono), y en las plantas C3 con calor la fotosíntesis neta puede bajar en torno a un **25 %**: **baja la productividad** de los cultivos.
- **Plantas C3** (la mayoría: trigo, arroz, cebada, soja, la mayoría de los árboles): el primer producto es el 3-fosfoglicerato (3 C) y sufren mucha fotorrespiración con calor.
- **Plantas C4** (maíz, caña de azúcar, sorgo, mijo): en las células del **mesófilo** la **PEP carboxilasa** (que no reacciona con el O_2) fija el CO_2 (en forma de bicarbonato, HCO_3^-) en un compuesto de **4 C** (oxalacetato, que pasa a malato); este lo lleva a las células de la **vaina del haz** (anatomía de **Kranz**), donde lo libera junto a la RuBisCO. Separan los pasos **en el espacio** y casi no fotorrespiran, a cambio de gastar más ATP.
- **Plantas CAM** (metabolismo ácido de las crasuláceas: cactus, piña, agave, *Crassula*, aloe): abren los estomas **de noche**, fijan el CO_2 con la PEP carboxilasa y lo guardan como **malato** en la vacuola; **de**

día, con los estomas cerrados, lo liberan al ciclo de Calvin. Separan los pasos **en el tiempo** y ahorran mucha agua.

C3

trigo, arroz, soja

- Primer producto: 3-fosfoglicerato (3 C)
- Solo RuBisCO
- Mucha fotorrespiración con calor

C4

maíz, caña, sorgo

- Primer producto: oxalacetato (4 C)
- PEP carboxilasa (mesófilo) + RuBisCO (vaina): **separación en el espacio**
- Casi sin fotorrespiración

CAM

cactus, piña, agave

- Fijan CO_2 de noche como malato
- Calvin de día con estomas cerrados: **separación en el tiempo**
- Poca fotorrespiración; ahorran agua

PREGUNTA RESUELTA

La Rioja · PAU 2025 ordinaria · 6B: «Cuando nos referimos a la forma de realizar la fotosíntesis citamos que existen tres tipos de plantas, las llamadas C3, las denominada C4 y las CAM. […] c) El proceso de la fotorrespiración, ¿aparece por igual en los tres grupos de plantas citados? Justifique la respuesta. (0,5 puntos) d) ¿Qué consecuencias tiene la fotorrespiración para la productividad de la planta? (0,4 puntos)»

Respuesta modelo

c) **No.** La fotorrespiración ocurre cuando la RuBisCO une O_2 en vez de CO_2, lo que pasa cuando dentro de la hoja hay poco CO_2 y mucho O_2. En las **plantas C3** la RuBisCO está expuesta al aire de la hoja y la fotorrespiración es **alta**, sobre todo con calor y estomas cerrados. Las **C4** concentran el CO_2 alrededor de la RuBisCO en la vaina del haz (lo fijan antes con la PEP carboxilasa, que no reacciona con el O_2), así que su fotorrespiración es **mínima**. Las **CAM** liberan de día, con los estomas cerrados, el CO_2 almacenado de noche como malato: también es **baja**.

d) La fotorrespiración **consume ATP** y **libera CO_2** que ya se había fijado, sin producir azúcares: **reduce la fotosíntesis neta y la producción de biomasa** (con calor, la fotosíntesis neta de las C3 puede bajar en torno a una cuarta parte). Por eso las C3 rinden menos que las C4 en climas cálidos y secos.

Por qué puntúa. La Rioja exige justificar siempre: puntúa explicar por qué cada grupo fotorrespira más o menos (concentración de CO_2 junto a la RuBisCO), no solo decir «no».

8 Quimiosíntesis

- **Quimiosíntesis**: anabolismo **autótrofo** en el que el **ATP y el poder reductor** necesarios para fijar el **CO_2** (normalmente por el ciclo de Calvin) se obtienen de la **oxidación de compuestos inorgánicos reducidos**, **sin luz**. La hacen solo **bacterias y arqueas** (**quimiolitoautótrofos**). La descubrió **Serguéi Winogradsky** a finales del siglo XIX.
- **Dos fases**: (1) **oxidación** del compuesto inorgánico; los electrones pasan a una cadena de transporte y se forma ATP por **fosforilación oxidativa** (el aceptor suele ser el O_2); como esos compuestos ceden electrones poco energéticos, para obtener **NADH** la bacteria tiene que hacer «subir» electrones gastando energía (transporte inverso). (2) **fijación del CO_2** con ese ATP y NADH, como en el ciclo de Calvin.
- **Importancia biológica**: cierran los **ciclos biogeoquímicos** del **nitrógeno**, el **azufre** y el **hierro**; hacen disponible el nitrógeno para las plantas (nitratos) y son los **productores primarios** de ecosistemas sin luz, como las **fuentes hidrotermales** del fondo oceánico (descubiertas en 1977 en las Galápagos). Algunas se usan en **biominería** (biolixiviación) y **biorremediación**.

Bacterias nitrificantes

Del suelo y el agua. ***Nitrosomonas***: NH_3 (amoníaco) → NO_2^- (nitrito). ***Nitrobacter***: NO_2^- → **NO_3^- (nitrato)**, la principal forma de nitrógeno que absorben las plantas (también toman amonio). Es el ejemplo que pide Castilla-La Mancha.

Bacterias del azufre (sulfooxidantes)

Oxidan H_2S, S o tiosulfato a **sulfato** (*Beggiatoa*, *Thiobacillus*). Son la base de la vida en las fuentes hidrotermales.

Bacterias del hierro (ferrooxidantes)

Oxidan Fe^{2+} a **Fe^{3+}**. *Acidithiobacillus ferrooxidans* (salió en la Comunitat Valenciana, 2025) se usa para extraer metales de minerales (biolixiviación).

Bacterias del hidrógeno

Oxidan H_2 a H_2O (*Cupriavidus*, que salió en Cataluña en 2026 con el ciclo de Calvin y la producción de bioplásticos).

Fotosíntesis

- Energía: **luz**
- Dador de electrones: H_2O (o H_2S…)
- Plantas, algas, cianobacterias y otras bacterias
- Libera O_2 (la oxigénica)
- Productora primaria de casi toda la biosfera

Quimiosíntesis

- Energía: **oxidación de compuestos inorgánicos**
- Dador: NH_3, NO_2^-, H_2S, Fe^{2+}, H_2
- Solo bacterias y arqueas
- No libera O_2 (suele consumirlo)
- Ciclos del N, S y Fe; ecosistemas sin luz

Semejanza que siempre piden

Las dos son **autótrofas**: usan **CO_2** como fuente de carbono y lo fijan (por el **ciclo de Calvin**) con **ATP y poder reductor**. Lo que cambia es de dónde sale la energía: de la luz o de una oxidación química (Extremadura, 2026: «una semejanza, dos diferencias y su importancia biológica»).

9 Anabolismo heterótrofo

Lo justo: qué fabrica cada ruta, **dónde** ocurre y **de qué parte**. Andalucía, Asturias, Madrid, Extremadura y Cataluña lo dicen claro: **sin detallar las rutas**. Castilla y León, Castilla-La Mancha y La Rioja piden además gluconeogénesis y glucogenogénesis.

- **Gluconeogénesis**: síntesis de **glucosa** a partir de precursores **no glucídicos**: **lactato**, **glicerol** y **aminoácidos glucogénicos** (y el piruvato). Ocurre sobre todo en el **hígado** (y en la corteza renal); empieza en la **mitocondria**, sigue en el **citosol** y su último paso (la glucosa-6-fosfatasa) ocurre en el **retículo endoplasmático**. No es la glucólisis al revés: **rodea sus tres pasos irreversibles** y gasta **4 ATP + 2 GTP** por glucosa. Mantiene la glucemia en el ayuno. Los ácidos grasos **no** sirven en los animales: su acetil-CoA no puede volver a glucosa.
- **Ciclo de Cori**: el **lactato** que produce el músculo en un esfuerzo anaerobio viaja por la sangre al **hígado**, que lo convierte en **glucosa** por gluconeogénesis y la devuelve al músculo (La Rioja: «Glucosa → Lactato → Glucosa»).
- **Glucogenogénesis**: síntesis de **glucógeno** a partir de glucosa activada como **UDP-glucosa** (glucógeno sintasa y enzima ramificante), en el **citosol** de **hígado y músculo**. Lo contrario es la **glucogenólisis**.
- **Síntesis de ácidos grasos (lipogénesis)**: en el **citosol** (hígado, tejido adiposo), a partir de **acetil-CoA** (que sale de la mitocondria como **citrato**). La **acetil-CoA carboxilasa** forma malonil-CoA y la **ácido graso sintasa** alarga la cadena de dos en dos carbonos con **NADPH** hasta el **palmitato (C16)**; el **retículo endoplasmático liso** lo alarga o lo desatura. Con glicerol forman **triacilglicéridos**.

- **Síntesis de aminoácidos**: a partir de intermediarios de la **glucólisis** y del **ciclo de Krebs** (α-cetoglutarato, oxalacetato, piruvato) por **transaminación**. Los humanos no fabrican **9 aminoácidos esenciales**, que deben llegar con la dieta (Tema 5).
- **Síntesis de proteínas**: en los **ribosomas** (libres o del retículo endoplasmático rugoso), uniendo aminoácidos por enlaces peptídicos según el ARNm; gasta mucha energía (ATP y GTP) (Tema 16).
- Todas gastan **energía** del catabolismo (**ATP** o **GTP**); algunas, además, **poder reductor**: **NADPH** en la síntesis de ácidos grasos y de muchos aminoácidos, **NADH** en la gluconeogénesis. La síntesis de glucógeno y la de proteínas no lo necesitan. El anabolismo heterótrofo es la otra cara del Tema 13.

Ruta	Produce	A partir de	Dónde
Gluconeogénesis	Glucosa	Lactato, glicerol, aminoácidos, piruvato	Hígado (y riñón): mitocondria, citosol y RE
Glucogenogénesis	Glucógeno	Glucosa (UDP-glucosa)	Citosol de hígado y músculo
Lipogénesis	Ácidos grasos y triacilglicéridos	Acetil-CoA, NADPH, glicerol	Citosol; alargamiento en el REL
Síntesis de aminoácidos	Aminoácidos no esenciales	Intermediarios de la glucólisis y del Krebs	Sobre todo hígado
Síntesis de proteínas	Proteínas	Aminoácidos, ATP, GTP	Ribosomas (citosol y RER)

En las plantas, la glucosa fabricada en la fotosíntesis se almacena como almidón en el cloroplasto y se transporta como sacarosa.

Conceptos clave

Fotosíntesis

Proceso anabólico autótrofo que transforma la energía luminosa en energía química (ATP y NADPH) y la usa para sintetizar materia orgánica a partir de CO_2; en la oxigénica, el agua es el dador de electrones y se libera O_2.

Fotosíntesis anoxigénica

Fotosíntesis de algunas bacterias (púrpuras y verdes) en la que el dador de electrones no es el agua (H_2S, H_2, materia orgánica) y no se desprende O_2.

Fotosistema

Complejo de proteínas y pigmentos de la membrana de los tilacoides formado por un complejo antena, que capta la luz, y un centro de reacción, cuya clorofila a excitada cede electrones a un aceptor.

Centro de reacción

Parte del fotosistema con un par especial de clorofila a (P680 en el PSII, P700 en el PSI) que, al recibir la energía de la antena, pierde un electrón e inicia el transporte.

Fotólisis del agua

Rotura del agua en el lumen por el fotosistema II: $2\ H_2O \rightarrow 4\ H^+ + 4\ e^- + O_2$; aporta los electrones del transporte acíclico, protones para el gradiente y todo el O_2 que libera la fotosíntesis.

Fase dependiente de la luz

Fase de la fotosíntesis, en la membrana de los tilacoides, que capta la luz y produce ATP, NADPH y O_2 mediante la fotólisis del agua, el transporte de electrones y la fotofosforilación.

Fotofosforilación

Síntesis de ATP en el cloroplasto por la ATP sintasa gracias al gradiente de protones entre el lumen del tilacoide y el estroma que se crea con la energía de la luz.

Transporte acíclico

Flujo de electrones desde el agua, por el PSII y el PSI, hasta el $NADP^+$; produce ATP, NADPH y O_2.

Transporte cíclico

Flujo de electrones en el que solo interviene el PSI: vuelven de la ferredoxina al citocromo b_6f y al P700; produce ATP pero no NADPH ni O_2.

Ciclo de Calvin

Ruta cíclica del estroma que fija el CO_2 sobre la ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBisCO) y lo reduce a gliceraldehído-3-fosfato con el ATP y el NADPH de la fase dependiente de la luz; regenera la RuBP.

RuBisCO

Ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa: enzima del estroma que fija el CO_2 a la RuBP en el ciclo de Calvin y que también puede unir O_2 (fotorrespiración).

Fotorrespiración

Proceso en el que la RuBisCO une O_2 en lugar de CO_2; consume ATP y libera CO_2 ya fijado, por lo que baja el rendimiento de la fotosíntesis; es alto en plantas C3 con calor y sequía.

Plantas C4

Plantas (maíz, caña de azúcar) que fijan primero el CO_2 con la PEP carboxilasa en un compuesto de 4 C en el mesófilo y lo liberan junto a la RuBisCO en la vaina del haz, con lo que casi no fotorrespiran.

Plantas CAM

Plantas de sitios secos (cactus, piña) que abren los estomas de noche, guardan el CO_2 como malato y lo pasan al ciclo de Calvin de día con los estomas cerrados.

Punto de compensación

Intensidad de luz (o concentración de CO_2) a la que la fotosíntesis iguala a la respiración de la planta, de modo que el intercambio neto de gases es nulo.

Quimiosíntesis

Anabolismo autótrofo de algunas bacterias y arqueas que fija CO_2 con el ATP y el poder reductor obtenidos de la oxidación de compuestos inorgánicos (NH_3, NO_2^-, H_2S, Fe^{2+}, H_2), sin luz.

Bacterias nitrificantes

Bacterias quimiosintéticas del suelo que oxidan el amoníaco a nitrito (Nitrosomonas) y el nitrito a nitrato (Nitrobacter), la principal forma de nitrógeno que absorben las plantas.

Gluconeogénesis

Síntesis de glucosa a partir de precursores no glucídicos (lactato, glicerol, aminoácidos), sobre todo en el hígado; mantiene la glucemia en el ayuno.

Glucogenogénesis

Síntesis de glucógeno a partir de glucosa (como UDP-glucosa) en el citosol de las células del hígado y del músculo.

Ciclo de Cori

Intercambio entre músculo e hígado: el lactato producido por la fermentación láctica del músculo pasa al hígado, que lo convierte en glucosa por gluconeogénesis y la devuelve a la sangre.

Lipogénesis

Síntesis de ácidos grasos en el citosol a partir de acetil-CoA y NADPH (ácido graso sintasa, hasta palmitato) y su esterificación con glicerol para formar triacilglicéridos.

MODO PAU

Seis claves que valen puntos

Dónde va cada fase

Dependiente de la luz: **membrana de los tilacoides**. Ciclo de Calvin: **estroma**. Es el punto más repetido de todos los criterios (0,2 por localización en Madrid).

Qué da cada fase

La luminosa da **ATP, NADPH y O_2**; el Calvin los gasta (**3 ATP y 2 NADPH por CO_2**) y da **G3P**. El O_2 sale **del agua**, no del CO_2.

Cíclica frente a acíclica

Acíclica: **PSII + PSI**, ATP + NADPH + O_2. Cíclica: **solo PSI**, **solo ATP** (Castilla y León, 2026: 1 punto).

La RuBisCO

Une **CO_2 + RuBP (5 C) → 2 × 3-fosfoglicerato**; en el **estroma**. Se satura con CO_2 (gráfica de Madrid) y también une O_2 (**fotorrespiración**).

Nombres según la comunidad

En **Madrid**, «fase dependiente/independiente de la luz» o «fotoquímica / fijación del CO_2», nunca «oscura». **Castilla-La Mancha** y **Murcia** dicen «oscura» y es correcto allí.

Quimiosíntesis

Autótrofa, **sin luz**, energía de **oxidar compuestos inorgánicos**; ejemplo seguro: **bacterias nitrificantes** (NH_3 → NO_2^- → NO_3^-). Importancia: **ciclos del N, S y Fe**.

Cómo te lo pueden preguntar

- **Madrid (modelo 2027, 3.B):** «c) Interprete la gráfica adjunta relacionándola con la actividad fotosintética de una planta. Indique la enzima implicada en este proceso (0,6 puntos).» [Gráfica: asimilación de CO_2 (μmol m^{-2} s^{-1}) frente a la concentración ambiental de CO_2 (Pa): sube casi en línea recta hasta unos 50 μmol m^{-2} s^{-1} a 40 Pa y luego se aplana en torno a 54.]
- **Castilla-La Mancha (modelo 2027, 5.1):** «c. Indique el orgánulo celular donde actúa la enzima RuBisCO. Explique cómo variará la actividad de esta enzima en función de la temperatura. [1 punto]»
- **Canarias (PAU 2026 ordinaria, P4):** «c. Especifica qué productos se obtienen en la primera etapa de la fotosíntesis, e indica de forma razonada si la segunda etapa podría realizarse sin la presencia de dichos productos. [0,4 ptos.]»
- **Murcia (PAU 2026 extraordinaria, opción 3.1):** «A) Explique de forma concisa qué ocurre en la fase oscura o sintética de la fotosíntesis y la procedencia (cómo se obtienen) las moléculas necesarias (1 p.).»
- **Castilla y León (PAU 2025 extraordinaria, 3.2.A):** «Con relación al ciclo de Calvin, contestar las siguientes cuestiones: a) ¿Es un proceso anabólico o catabólico? ¿En qué orgánulo tiene lugar? Explicar la finalidad de dicho ciclo. (1,0) b) Identificar la molécula que se genera en el ciclo y la coenzima que se requiere. (0,5)»
- **Navarra (PAU 2026 extraordinaria, 3.B):** «a) Explica por qué la sequía puede reducir la tasa fotosintética. (0,5 P) […] d) Indica dónde se encuentran los pigmentos fotosintéticos dentro de los cloroplastos, en qué fase de la fotosíntesis intervienen y menciona los productos que se obtienen en esa fase. (0,5 P)»
- **Navarra (PAU 2026 ordinaria, 3.B):** «d) ¿Por qué algunos seres vivos tienen dos orgánulos para obtener ATP? (0,25 P).»
- **La Rioja (PAU 2026 extraordinaria, 8):** «8.A.2) Explica por qué el metabolismo fotosintético y respiratorio coexisten en las plantas. (0,5 puntos) […] 8.B.2) Explica qué consecuencias tiene para el metabolismo la fotorrespiración que tienen algunas plantas y por lo tanto para el rendimiento de los cultivos. (0,5 puntos)»
- **Baleares (PAU 2025 ordinaria, pregunta 4, traducido del catalán):** «b) Respecto al anabolismo autótrofo y al heterótrofo, decid qué tipos conocéis de cada uno y, para cada uno de estos tipos, indicad su fuente de carbono y la de la energía inicial que usan para obtener el ATP necesario. […] e) Sin la fotosíntesis, no podría haber ninguna forma de vida en el planeta [verdadero o falso].»

- **Castilla y León (PAU 2025 ordinaria, 3.2.A):** «c) Defina los términos gluconeogénesis y glucogenogénesis. (0,3)»

No lo confundas

- **El O_2 viene del agua**, no del CO_2: lo libera la fotólisis del agua en el fotosistema II.
- **El ciclo de Calvin no ocurre de noche** aunque se llame «independiente de la luz»: depende del ATP y el NADPH recién formados y sus enzimas se activan con la luz.
- **Estroma ≠ lumen ≠ estroma del tilacoide**: el estroma es el líquido del cloroplasto (Calvin, ATP sintasa forma ATP aquí); el lumen es el interior del tilacoide (allí se acumulan los H^+ y se rompe el agua).
- **NADPH (anabolismo, fotosíntesis) ≠ NADH (catabolismo)**: el producto de la fase dependiente de la luz es NADPH.
- **Fotosistema II actúa antes que el I**: se numeran por orden de descubrimiento.
- **Las plantas también respiran**, de día y de noche: tienen cloroplastos para fabricar materia orgánica y mitocondrias para obtener ATP de ella (Andalucía, Navarra, La Rioja).
- **Quimiosíntesis ≠ quimioheterotrofia**: los quimiosintéticos son autótrofos (CO_2); los quimioheterótrofos, como nosotros, toman el carbono de la materia orgánica.
- **Gluconeogénesis ≠ glucogenogénesis ≠ glucogenólisis**: glucosa a partir de no glúcidos; glucógeno a partir de glucosa; glucosa a partir de glucógeno.

Ponte a prueba

Castilla-La Mancha (PAU 2026 ordinaria, 2.1): «El aumento de CO2 atmosférico ha impulsado estudios sobre la fotosíntesis y las rutas metabólicas implicadas en la fijación del carbono en las plantas. a. Indique a qué molécula inicial del Ciclo de Calvin se fija el CO2. En este ciclo metabólico se consume ATP. Explique de dónde procede este ATP consumido. [0.5 puntos] b. ¿Qué enzima cataliza la reacción descrita en el apartado a.? Indique la reacción global de la fotosíntesis. [0.5 puntos] c. Explique brevemente qué es la fase luminosa (o fotoquímica) de la fotosíntesis, indicando dónde tiene lugar y qué molécula actúa como dador de electrones. [0.5 puntos]»

Solución: a) El CO_2 se fija a la **ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBP)**. El ATP procede de la **fase luminosa**: la ATP sintasa de la membrana del tilacoide fosforila el ADP gracias al flujo de protones del lumen al estroma (**fotofosforilación**, quimiósmosis de Mitchell). b) La **RuBisCO** (ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa). Reacción global:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{luz}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

c) Es la fase en la que la energía de la luz, captada por los **fotosistemas**, se convierte en energía química: se forman **ATP** y **NADPH** y se libera **O_2** por la fotólisis del agua. Tiene lugar en la **membrana de los tilacoides** y el dador de electrones es el **agua**.

Cantabria (PAU 2025 extraordinaria, opción 10): «La fotosíntesis es el proceso biológico mediante el cual las plantas, algas y algunas bacterias convierten la luz solar en energía química. a) Describa, lo más detallado posible, en qué localizaciones subcelulares tienen lugar las fases luminosa y biosintética durante la fotosíntesis en las plantas. b) ¿Cuál es el objetivo fundamental del transporte acíclico de electrones en la fase luminosa? c) ¿De dónde procede el O2 que se libera en la fotosíntesis? Indique el fotosistema donde ocurre. d) ¿En qué ciclo se incorpora el CO2? e) ¿Cuál es el primer compuesto aceptor de CO2 y qué enzima interviene?»

Solución: a) Fase **luminosa**: en la **membrana de los tilacoides** del cloroplasto (fotosistemas, cadena de transporte y ATP sintasa), con la fotólisis del agua en el lado del **lumen** y la formación de ATP y NADPH en el lado del **estroma**. Fase **biosintética**: en el **estroma**. b) Obtener **poder reductor (NADPH)** y **ATP** para el ciclo de Calvin, llevando electrones desde el agua hasta el $NADP^+$. c) Del **agua**, por la **fotólisis** que ocurre en el **fotosistema II**. d) En el **ciclo de Calvin**. e) La **ribulosa-1,5-bisfosfato**; la enzima es la **RuBisCO**.

Castilla y León (PAU 2026 extraordinaria, opción 3.2.B): «En relación a la fotofosforilación: a) Enunciar la hipótesis quimiosmótica de la fotofosforilación. (0,5) b) ¿Qué tipos de fotofosforilación existen? ¿Qué fotosistemas intervienen y que productos se forman en cada una de ellas? (1,0)»

Solución: a) Según la **hipótesis quimiosmótica** de Mitchell, el transporte de electrones en la membrana del tilacoide (y la fotólisis del agua) acumula **protones en el lumen**; el **flujo de protones del lumen al estroma a favor de gradiente** a través de la **ATP sintasa** proporciona la energía para formar **ATP** a partir de ADP y P_i. b) **Acíclica** (no cíclica): intervienen el **PSII y el PSI**; se forman **ATP, NADPH y O_2**. **Cíclica**: interviene **solo el PSI**; se forma **solo ATP**.

Extremadura (PAU 2026 extraordinaria, 1.d): «Compare, de forma general, la fotosíntesis y la quimiosíntesis como procesos de nutrición autótrofa, indicando una semejanza, dos diferencias y su importancia biológica (0,5 puntos).»

Solución: Semejanza: las dos son **autótrofas**: fijan **CO_2** y lo reducen a materia orgánica (ciclo de Calvin) con ATP y poder reductor. **Diferencias**: (1) la **fuente de energía**: la **luz** en la fotosíntesis y la **oxidación de compuestos inorgánicos** (NH_3, NO_2^-, H_2S, Fe^{2+}) en la quimiosíntesis; (2) los **organismos**: la fotosíntesis la hacen plantas, algas y bacterias fotosintéticas, y la quimiosíntesis **solo algunas bacterias y arqueas** (además, la fotosíntesis oxigénica libera O_2 y la quimiosíntesis no). **Importancia**: la fotosíntesis es la base de casi todas las cadenas tróficas y produce el O_2 atmosférico; la quimiosíntesis cierra los **ciclos del nitrógeno, del azufre y del hierro** (las nitrificantes producen el nitrato que absorben las plantas) y sostiene ecosistemas sin luz, como las fuentes hidrotermales.

Comunitat Valenciana (PAU 2025 extraordinaria, convocatoria por la DANA, publicada como modelo 2026): «La enzima RuBisCo cataliza la primera reacción de fijación del CO2 en el ciclo de Calvin, aunque también puede reaccionar con el O2, siendo la KM para el CO2 mucho menor que para el O2. ¿Por cuál de los dos sustratos tiene la RuBisCo más afinidad? Razone su respuesta (0,5 puntos).»

Solución: Tiene **más afinidad por el CO_2**. La **Km** es la concentración de sustrato a la que la enzima alcanza la **mitad de su velocidad máxima**: cuanto **menor** es la Km, menos sustrato hace falta para que la enzima trabaje a media velocidad, es decir, **mayor es la afinidad**. Como la Km para el CO_2 es mucho menor que para el O_2, la RuBisCO prefiere el CO_2 (aunque en el aire hay mucho más O_2 que CO_2, por eso existe la fotorrespiración).

Madrid (modelo 2027, 3.B): «En relación con la fotosíntesis: a) Nombre las dos fases principales de la fotosíntesis, indicando los compartimentos concretos del orgánulo donde se producen (0,8 puntos). b) Indique en qué fase de la fotosíntesis se forman el ATP y el NADPH y cuál es la función de ambas biomoléculas en este proceso metabólico (0,6 puntos). c) Interprete la gráfica adjunta relacionándola con la actividad fotosintética de una planta. Indique la enzima implicada en este proceso (0,6 puntos).» [Gráfica: asimilación de CO_2 ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) frente a la concentración ambiental de CO_2 (Pa): sube casi en línea recta hasta unos 50 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ a 40 Pa y luego se aplana en torno a 54.]

Solución: a) **Fase fotoquímica o dependiente de la luz**, en las **membranas de los tilacoides**; **fase de fijación del CO_2 o ciclo de Calvin**, en el **estroma** del cloroplasto. b) Se forman en la **fase dependiente de la luz**. El **ATP** aporta la **energía química** de las reacciones del ciclo de Calvin y el **NADPH** cede los **electrones** para **reducir** el CO_2 fijado a triosas (y de ahí a hexosas). c) La asimilación de CO_2 mide la actividad fotosintética. **Aumenta con la concentración de CO_2** hasta unos 40 Pa porque el CO_2 es el sustrato que limita la reacción; a partir de ahí la curva se **aplana** porque la **enzima que fija el CO_2 se satura** y más CO_2 ya no acelera la fotosíntesis. La enzima es la **RuBisCO**.

Castilla-La Mancha (modelo 2027, 5.1): «Algunas plantas producen una molécula llamada "Glicina Betaína (GB)", que las hace resistentes a altas temperaturas. Un grupo científico transfirió el gen de la GB a una planta de otra especie que no lo producía y cultivó plantas con el gen y sin el gen, a altas temperaturas. Tras 3 días sometidas a esas altas temperaturas, las plantas con el gen aumentaron su masa, mientras que las otras la redujeron. […] b. Relacione el incremento de masa de las plantas con el ciclo de Calvin: ¿qué molécula orgánica se sintetiza en el ciclo de Calvin? ¿cómo se llama, en plantas, el polímero que se obtiene a partir de esta molécula? [1 punto]»

Solución: La masa de una planta aumenta porque fija CO_2 en el **ciclo de Calvin** y lo convierte en materia orgánica. En el ciclo se sintetiza **gliceraldehído-3-fosfato** (una triosa), con el que se forma **glucosa**. A partir de la glucosa, la planta fabrica **almidón** (polímero de reserva, en los cloroplastos y amiloplastos) y **celulosa** (polímero estructural de la pared celular). Las plantas con el gen mantienen activas a alta temperatura las enzimas del ciclo (como la RuBisCO), siguen fijando CO_2 y crecen; las otras pierden actividad fotosintética, gastan sus reservas respirando y pierden masa.

Fuentes

1. Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer, *Biochemistry*, 8.ª ed. (W. H. Freeman, 2015), sección 20.1 «The Calvin cycle synthesizes hexoses from carbon dioxide and water»
2. Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer, *Biochemistry*, 8.ª ed., cap. 20 (vía C4, metabolismo CAM y fotorrespiración)
3. Berg, Tymoczko y Stryer, *Biochemistry*, 5.ª ed. (W. H. Freeman, 2002), NCBI Bookshelf: cap. 19 «The light reactions of photosynthesis», cap. 20 «The Calvin cycle and the pentose phosphate pathway», cap. 16 (gluconeogénesis), cap. 21 (glucógeno) y cap. 22 (síntesis de ácidos grasos)
4. Alberts y col., *Molecular Biology of the Cell*, 4.ª ed. (Garland, 2002), NCBI Bookshelf: cap. 14 «Energy conversion: mitochondria and chloroplasts»
5. Lodish y col., *Molecular Cell Biology*, 4.ª ed. (W. H. Freeman, 2000), NCBI Bookshelf: cap. 16, sección «Photosynthetic stages and light-absorbing pigments» y siguientes
6. Nelson y Cox, *Lehninger. Principles of Biochemistry*, 8.ª ed. (W. H. Freeman / Macmillan Learning, 2021), caps. 14, 15, 20 y 21
7. The Nobel Prize in Chemistry 1961: Melvin Calvin (asimilación del CO_2 en la fotosíntesis), nobelprize.org
8. The Nobel Prize in Chemistry 1978: Peter Mitchell (teoría quimiosmótica), nobelprize.org
9. Universidad de Oviedo (PAU de Asturias): examen y criterios de Biología, convocatoria ordinaria de 2025
10. Generalitat de Catalunya, Oficina d'Accés a la Universitat: criterios de Biología, PAU 2025 (examen de reserva)
11. Universidad Complutense de Madrid (PAU de Madrid): modelo de examen y criterios de Biología 2027
12. Universidad de Castilla-La Mancha: modelos de examen y criterios de la PAU

Imágenes: Cloroplasto: and3k and caper437 (CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons) · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer (Biochemistry, 8.ª ed., caps. 19 y 20) y Nelson y Cox (Lehninger, 8.ª ed., cap. 20) · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer (Biochemistry, 8.ª ed., caps. 19 y 20) y Nelson y Cox (Lehninger, 8.ª ed., cap. 20) · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer (Biochemistry, 8.ª ed., caps. 19 y 20) y Nelson y Cox (Lehninger, 8.ª ed., cap. 20) · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Berg, Tymoczko, Gatto y Stryer (Biochemistry, 8.ª ed., caps. 19 y 20) y Nelson y Cox (Lehninger, 8.ª ed., cap. 20) · Gráficas propias: Farmeando PAU, gráficas de elaboración propia con curvas ilustrativas a partir de Taiz y Zeiger (Fisiología vegetal) y Berg y col. (Biochemistry, 8.ª ed.)

Apuntes de Farmeando PAU · farmeandopau.com · Revisados frente a fuentes. Última revisión: 9 de noviembre de 2026. Licencia CC BY-NC-ND 4.0: puedes copiarlo y compartirlo citándonos, sin uso comercial ni cambios (las imágenes, con su propia licencia). ¿Un error? Avísanos desde la página del tema. Cómo los hacemos: farmeandopau.com/metodologia.