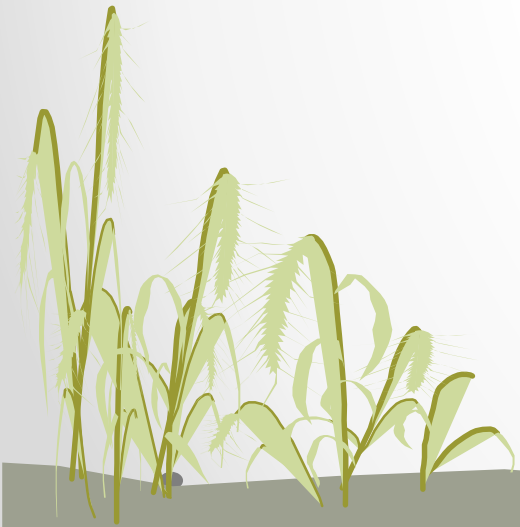


# Etapas de la fotosíntesis

Proceso molecular



# ETAPAS DE LA FOTOSÍNTESIS

→ FASE LUMINOSA  
O FOTOQUÍMICA.

→ FASE OSCURA O  
BIOSINTÉTICA

Reactante

Luz  
+  
Clorofila  
+  
Agua



OXÍGENO + ATP + NADPH<sub>2</sub>

**Nicotinamida-Adenina-Dinucleótido-Fosfato**

Reactante

Agua  
+  
Sales minerales  
+  
CO<sub>2</sub>  
+  
ATP  
+  
NADPH<sub>2</sub>

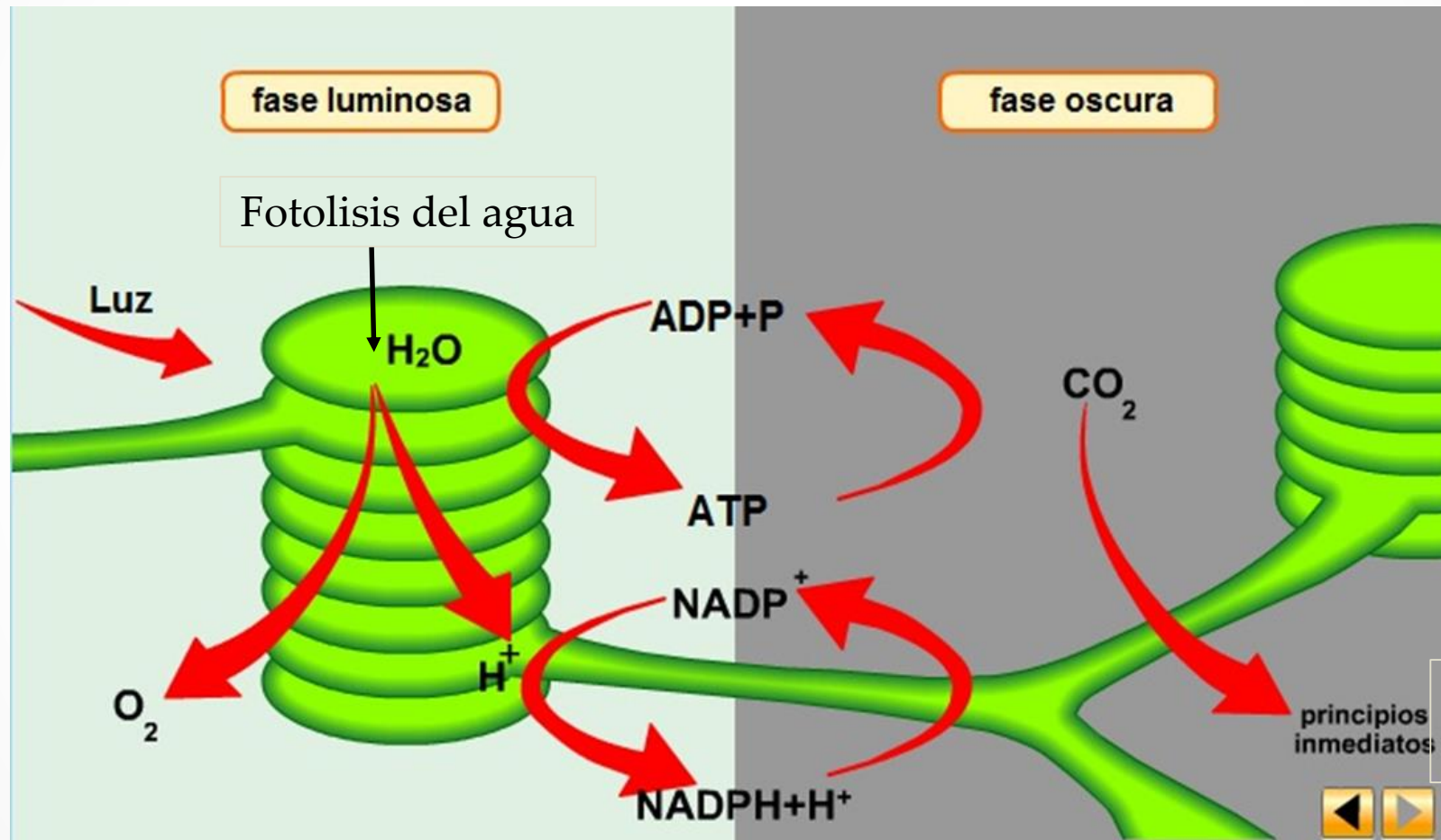


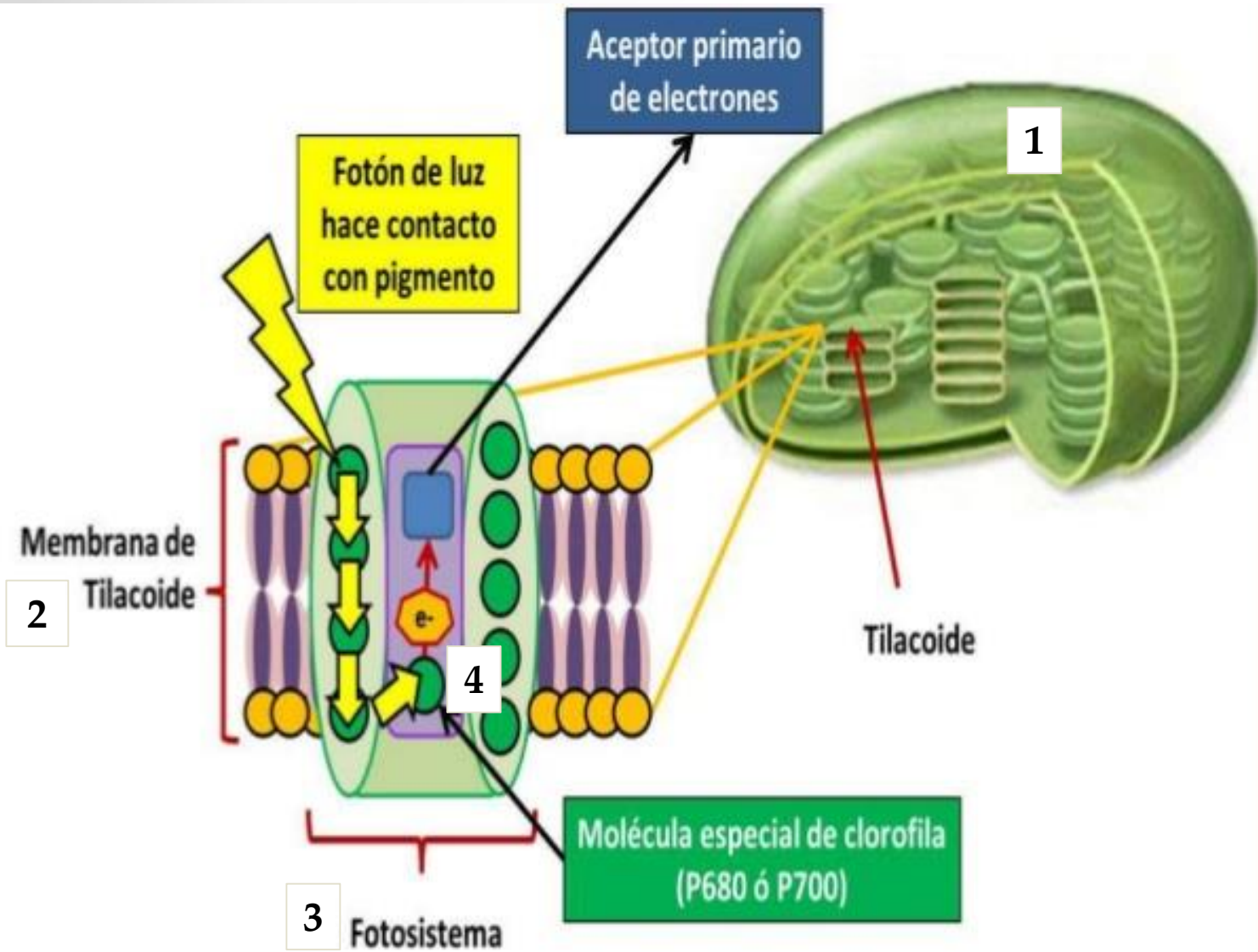
GLUCOSA

## El proceso fotosintético consta de dos partes:

Fase dependiente de luz o **luminosa**, en los tilacoides

Fase independiente de luz u **oscura**, en el estroma

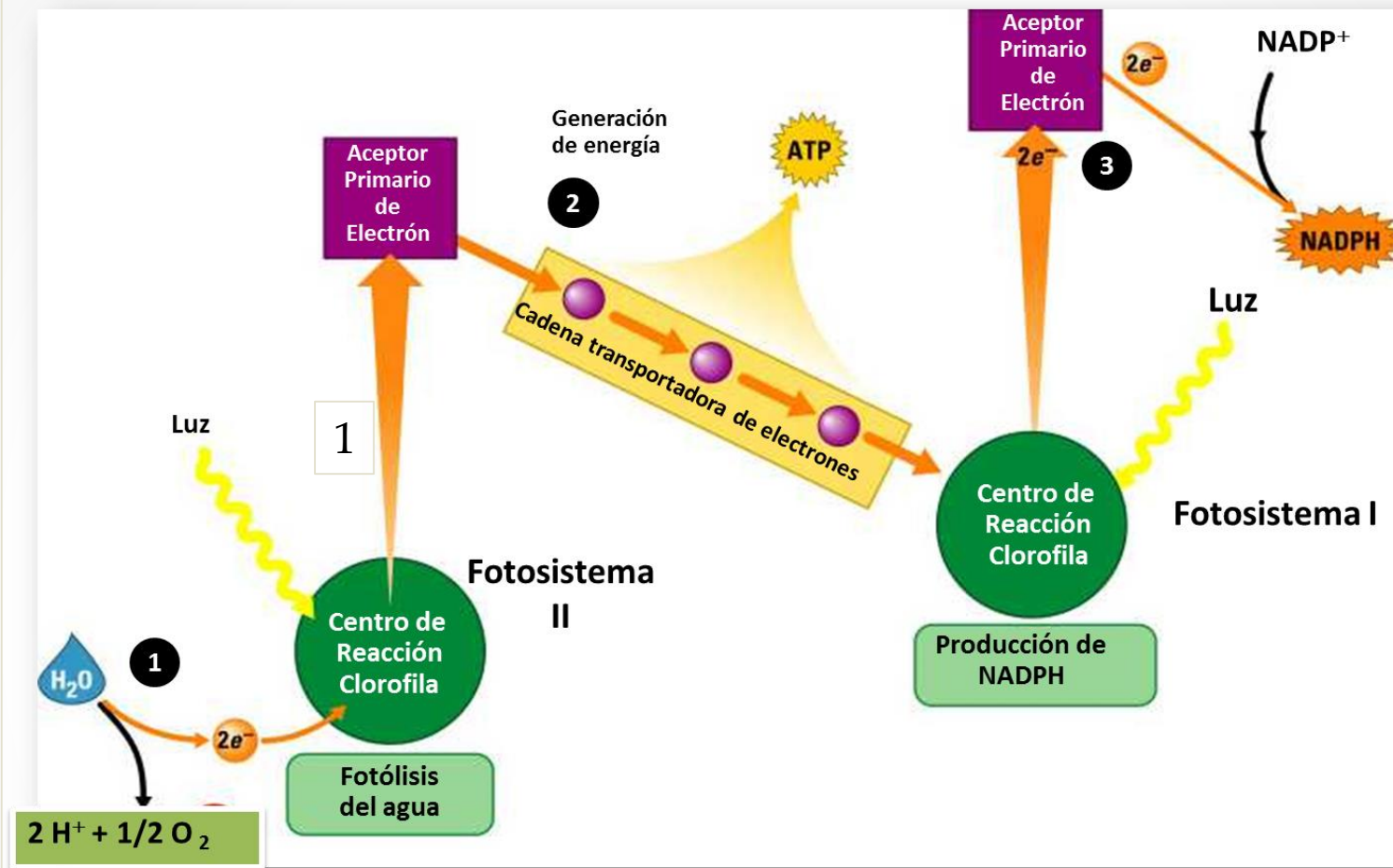




La imagen muestra un cloroplasto (1) con sus tres membranas. Las líneas amarillas amplían la membrana de un tilacoide (2) donde encontramos el Fotosistema (3), todo el fotosistema es llamado "**complejo antena**" que se encarga de recibir la luz solar con una serie de pigmentos, principalmente clorofila a, los cuales dirigen el fotón hasta el centro de reacción (4). En el centro de reacción, está la molécula especial de clorofila, el fotosistema II o P680 y el fotosistema I o P700. Los números indican la longitud de onda a la cual reaccionan estos pigmentos.



En el fotosistema II, al llegar un fotón, provoca elevar su estado energético, por lo tanto, salta un electrón (1) oxidándose. En esta condición el fotosistema II no puede seguir recibiendo fotones, ya que necesita recuperar el electrón que perdió, entonces, se rompe la molécula de agua, entregando así el electrón faltante al fotosistema, así puede seguir recibiendo energía.



El electrón del fotosistema II, pasa por una cadena de transporte de electrones permitiendo la formación de ATP, hasta llegar al fotosistema I, el cual también perdió electrones por la llegada de los fotones, y se recupera al recibir el electrón del fotosistema II. Los electrones que pierde el Fotosistema I, son ocupados para la síntesis de NADPH

1. La imagen, corresponde a la reacción que se lleva a cabo en los fotosistemas, en el centro de reacción. En ambos fotosistemas, los fotones llegan de manera simultánea.

La forma de Z que tiene el esquema, muestra que el Fotosistema I depende de los electrones del Fotosistema II, y el fotosistema II depende de la ruptura de la molécula de agua para seguir funcionando.

# Fase luminosa o dependiente de luz

**Lugar donde se realiza:** membranas tilacoidales

**Reactantes:**  $\text{H}_2\text{O}$ , ADP y  $\text{NADP}^+$

**Productos:**  $\text{O}_2$ , ATP y NADPH

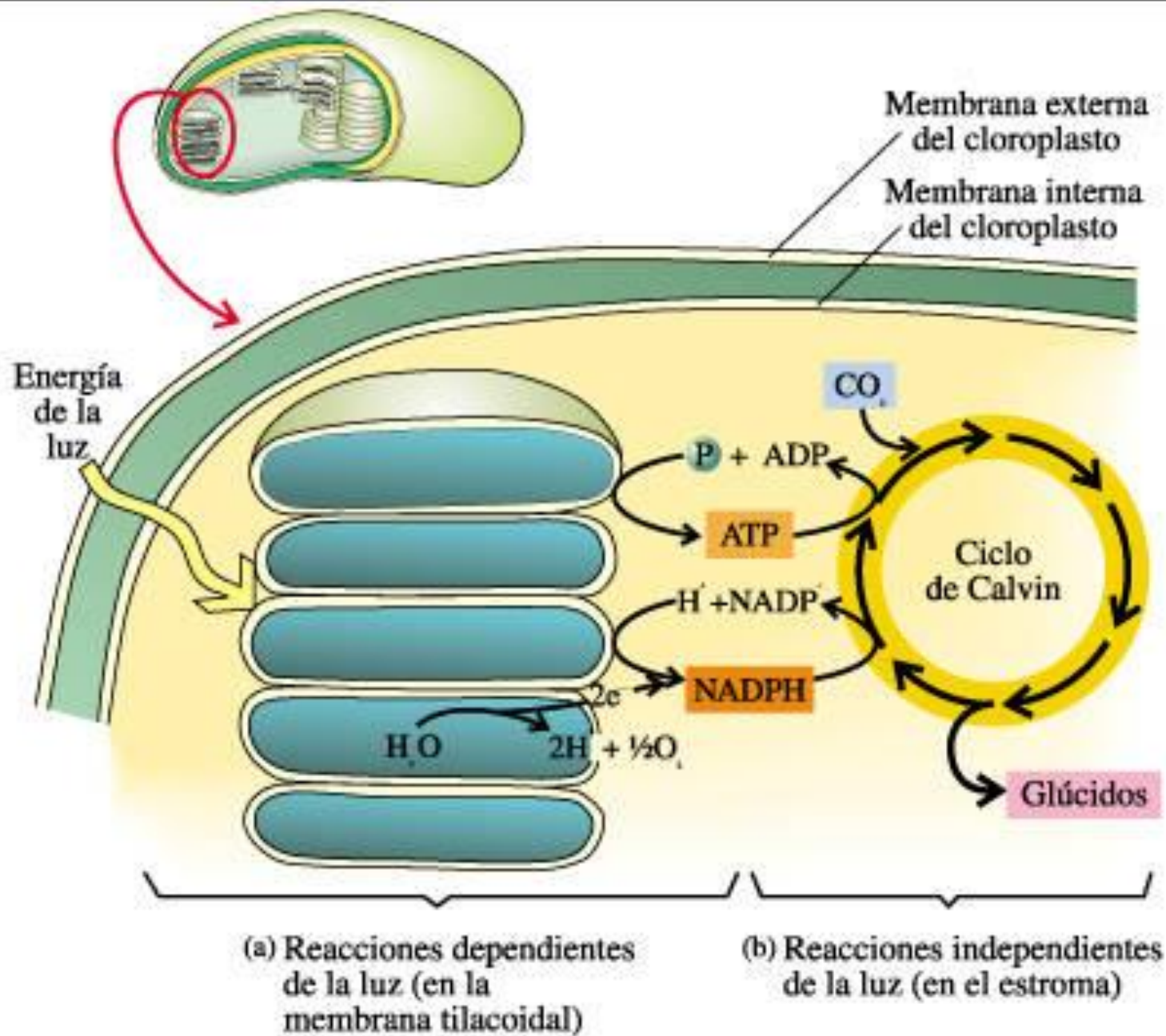
## Resumen del proceso:

Fotólisis del agua

Foto-fosforilación de ATP (formación)

Foto-oxidación de los fotopigmentos (pérdida de electrones por llegada de fotones)

Fotorreducción del  $\text{NADP}^+$  (ganancia de los electrones, formación de NADPH)



Los productos obtenidos en la fase fotodependiente, el ATP y NADPH, serán ocupados en la siguiente fase, que ocurre en el estroma del cloroplasto (lugar donde no hay tilacoides), estas moléculas acumulan energía muy inestable, es por ello que en esta etapa ( independiente de la luz), el Ciclo de Calvin, son usadas para unir los átomos de carbono del CO<sub>2</sub> y así sintetizar Glucosa, una molécula energéticamente mas estable y que puede ser almacenada.



# Reacciones independientes de la luz

- Ocurre en el **estroma** del cloroplasto.
- El NADPH y el ATP sintetizados en los fotosistemas son utilizados en esta etapa y almacenados en una molécula más estable, la **glucosa**.
- Existen tres vías para la síntesis de glucosa: **Vía fotosintética C3 o ciclo de Calvin, Vía fotosintética C4 o ciclo de Hatch y Slack y Vía fotosintética CAM.**

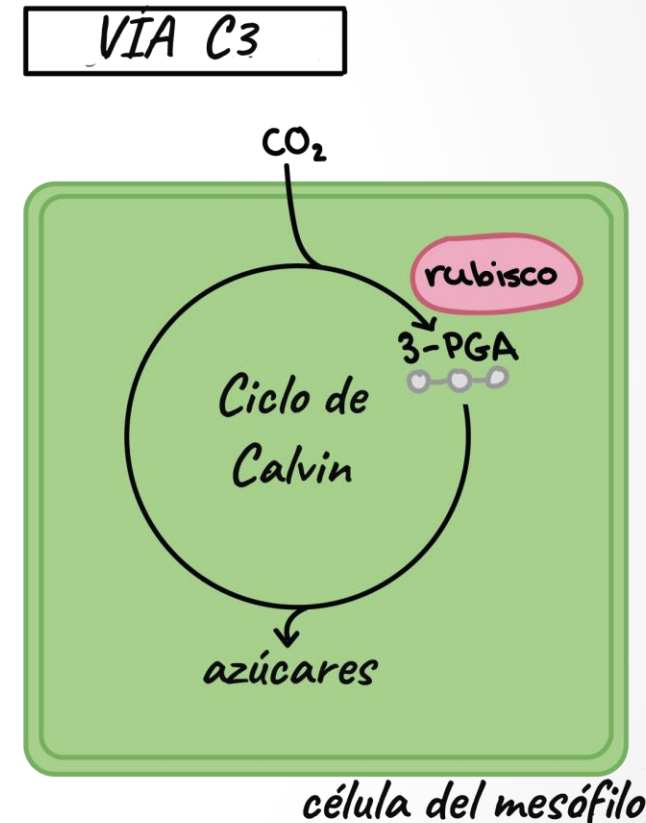


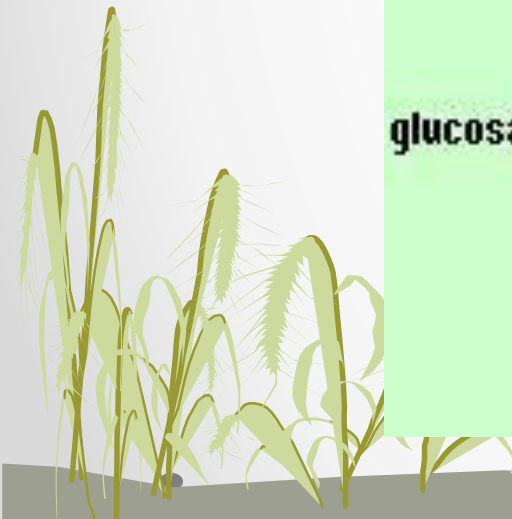
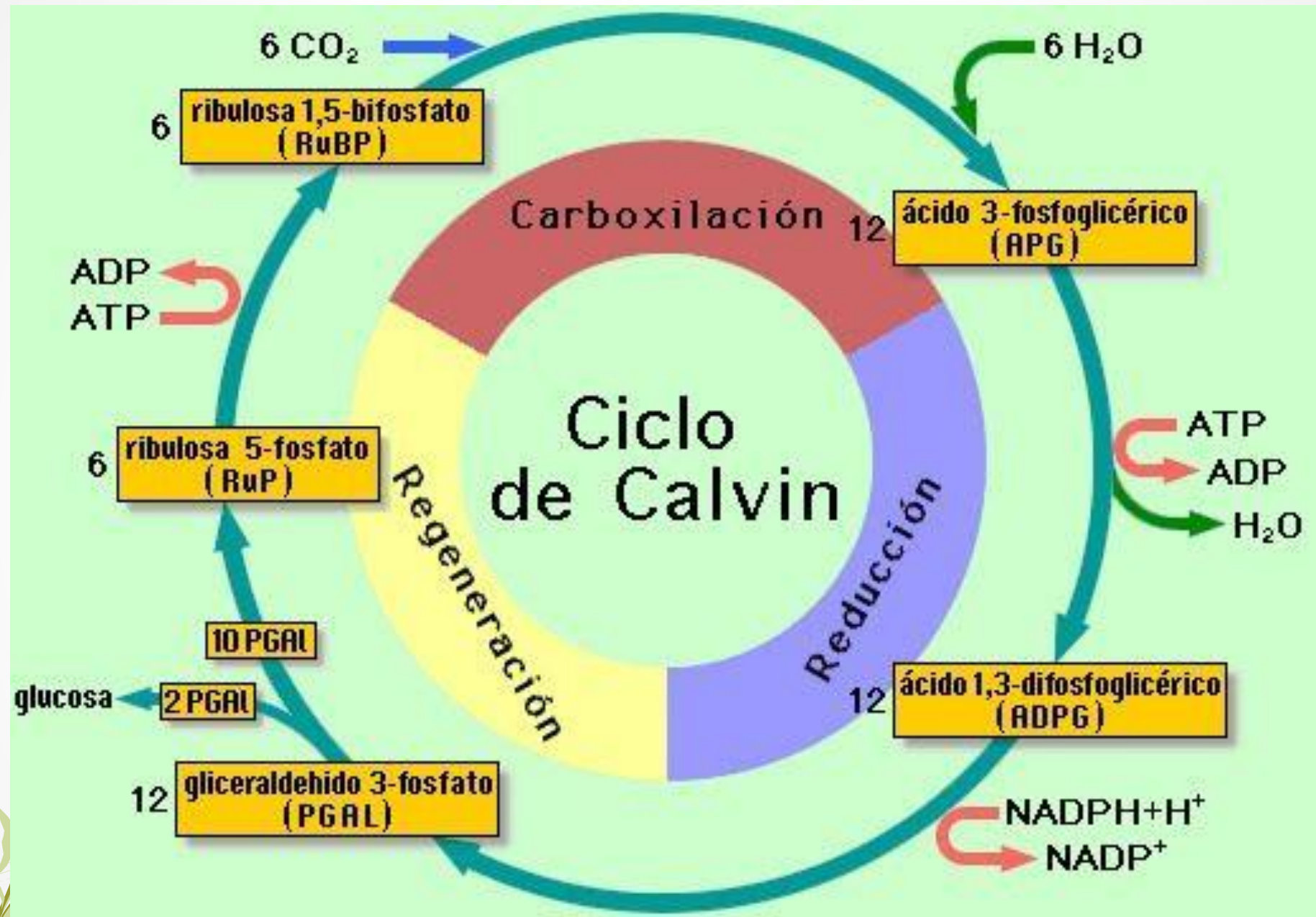


# 1. Vía fotosintética C3 o de Calvin

- Convierte el  $\text{CO}_2$  en carbohidratos.
- Utiliza una importante enzima: **Rubisco**
- Utiliza una molécula de 3 carbonos: **Ácido fosfoglicérico o PGA.**

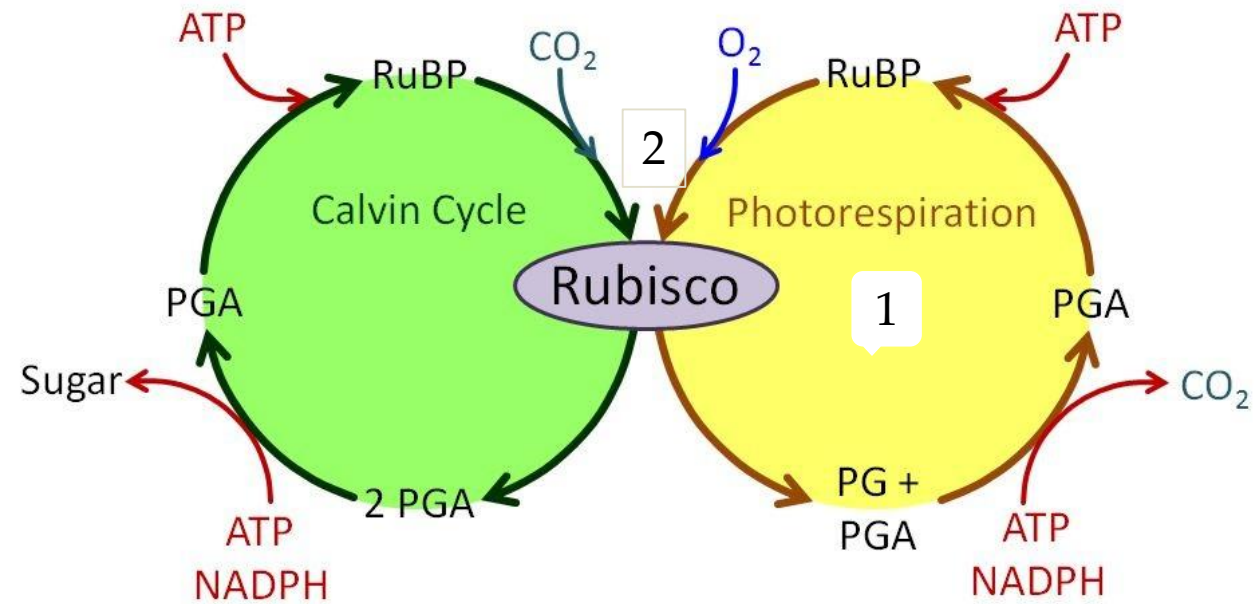
Es la vía más común de síntesis de glucosa, por cada vuelta al ciclo de Calvin, se fija o agrega una molécula de  $\text{CO}_2$ , es decir, que para sintetizar una molécula de glucosa se requieren 6 vueltas al ciclo, para obtener  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .





La **Rubisco** es la enzima más abundante en masa del planeta Tierra, cuyo nombre completo es **ribulosa- 1,5-bisfosfato carboxilasa oxigenasa** es una proteína de cloroplastos imprescindible para la fijación del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico. Este complejo proteico es exclusivo de los tejidos verdes de vegetales y de aquellos organismos que realicen la fotosíntesis.

Esta proteína une covalentemente el  $\text{CO}_2$  al azúcar ribulosa-1,5-bisfosfato, de 5 carbonos, este glúcido inestable es roto en dos moléculas de 3-fosfoglicerato, que serán incorporados a los ciclos de obtención de energía y materia orgánica del ser vivo, mediante la entrada del fosfoglicerato en la glucólisis o la formación de azúcares más complejos.



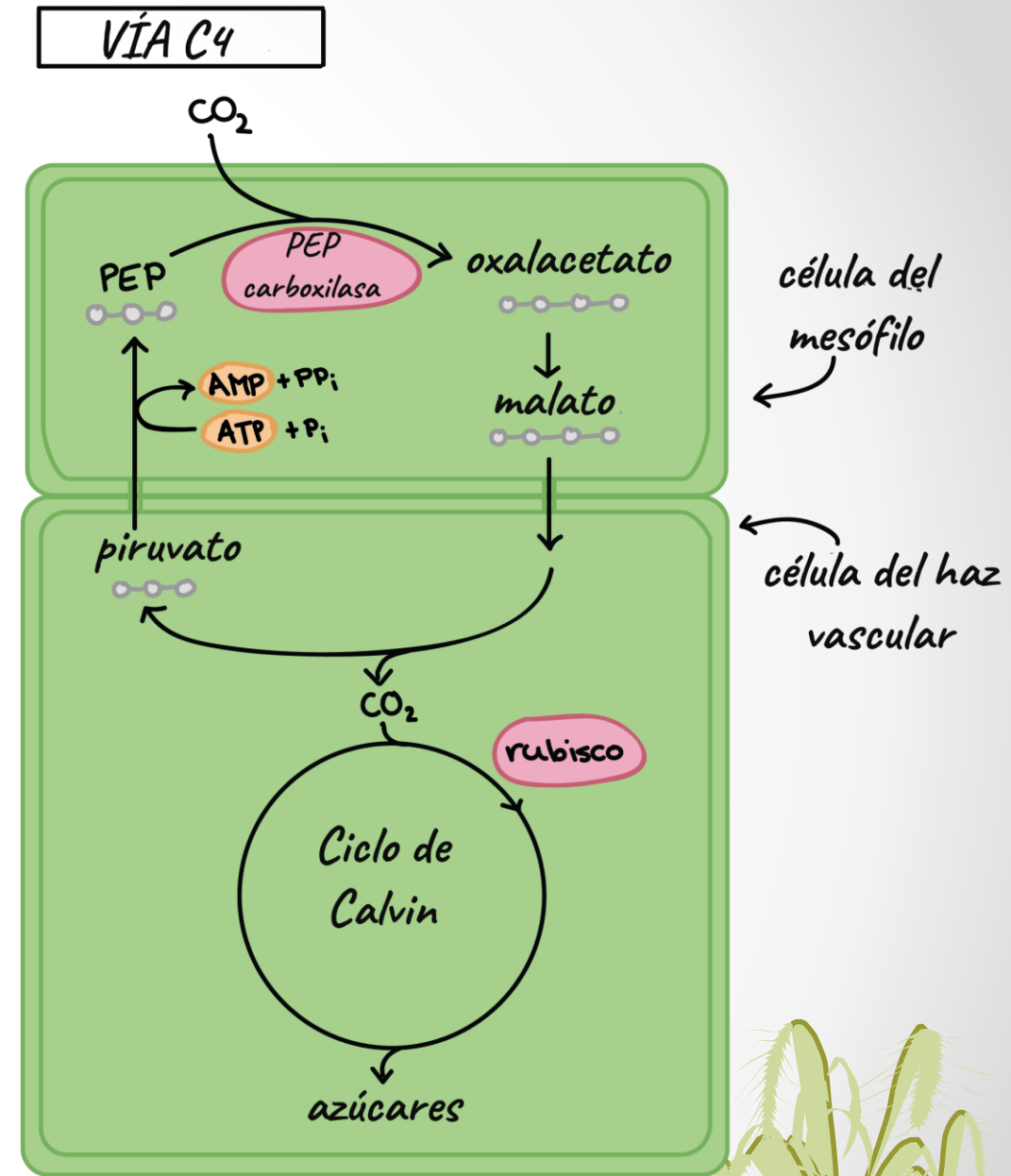
La **Rubisco** tiene además otra actividad, la oxigenasa (1), que compite con la carboxilasa por el **centro catalítico (2)**. Esta fijación de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) se denomina fotorespiración y puesto que el oxígeno es más abundante que el  $\text{CO}_2$  en la atmósfera esta actividad está favorecida. Sin embargo, la rubisco es capaz de coger 3 o 4 moléculas de  $\text{CO}_2$  por cada una de  $\text{O}_2$ . Esta ineficacia además del enorme gasto energético que supone (18 ATP y 12 NADHP) es lo que lleva a muchos biólogos y agrónomos a intentar mejorarla para obtener un mejor rendimiento agrícola.

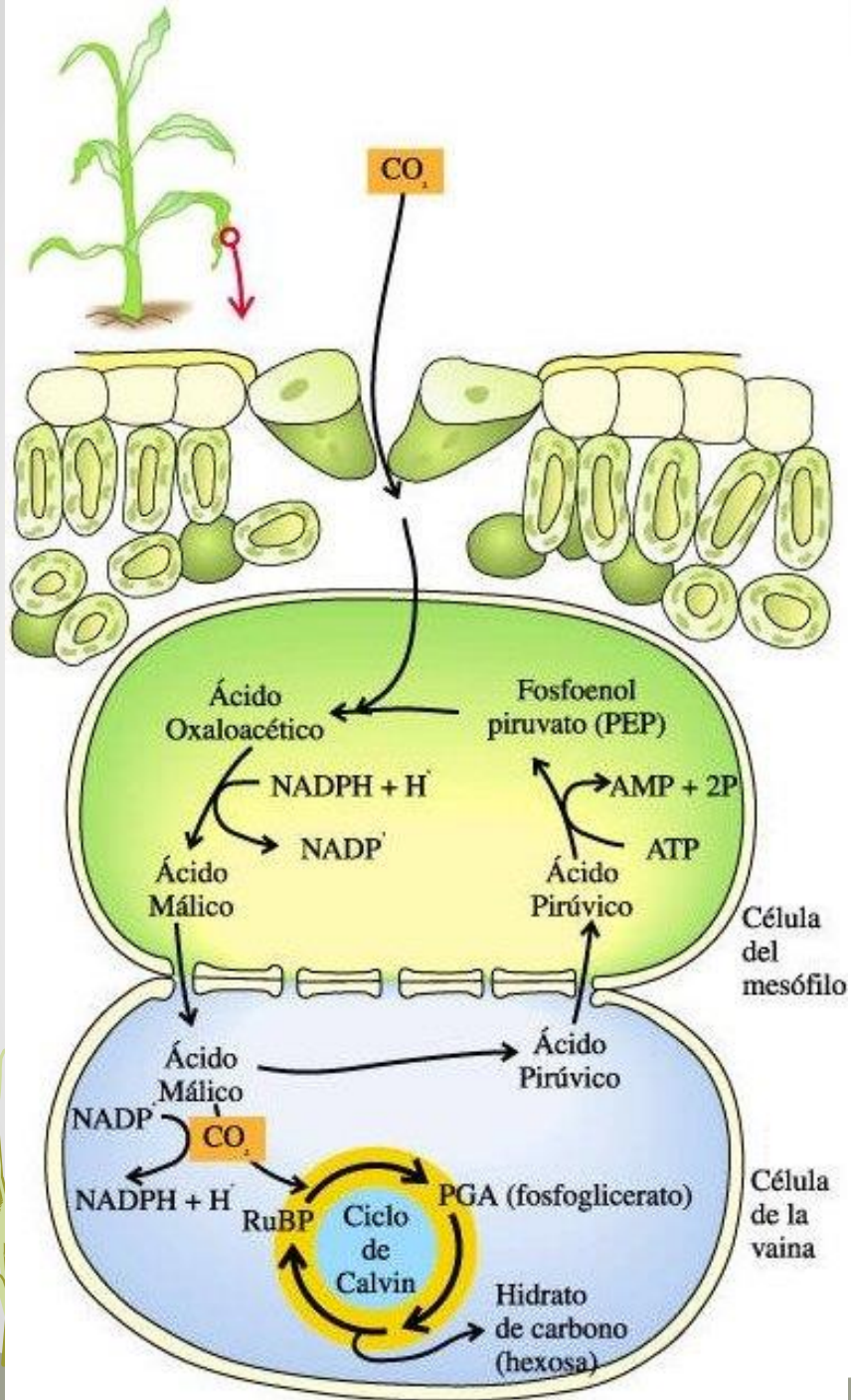
## 2. Vía fotosintética C4 o ciclo de Hatch y Slack.

- Posee una molécula de 4 carbonos : **ácido málico o malato**.
- Este ciclo se dá en especies como el maíz, trigo y caña de azúcar.

La ruta C4 evita o limita la fotorrespiración, pues la enzima de fijación de carbono, fija únicamente CO<sub>2</sub> y no O<sub>2</sub>.

Las plantas que presentan la ruta C4 se conocen como **plantas C4** y son típicas de los trópicos, de regiones áridas y de medios calurosos, secos y soleados. Numerosos cereales y otras gramíneas son plantas C4





Los vegetales que consumen energía en la fotorrespiración también consumen recursos, como agua y nutrientes minerales. La selección natural favorecerá cualquier cambio que ayude a que la fotosíntesis pueda producirse en condiciones de calor y sol intenso. Entre las plantas con flores, un número de monocotiledóneas tropicales, así como algunas dicotiledóneas, cuentan con un proceso sumado al ciclo de Calvin: la ruta C4

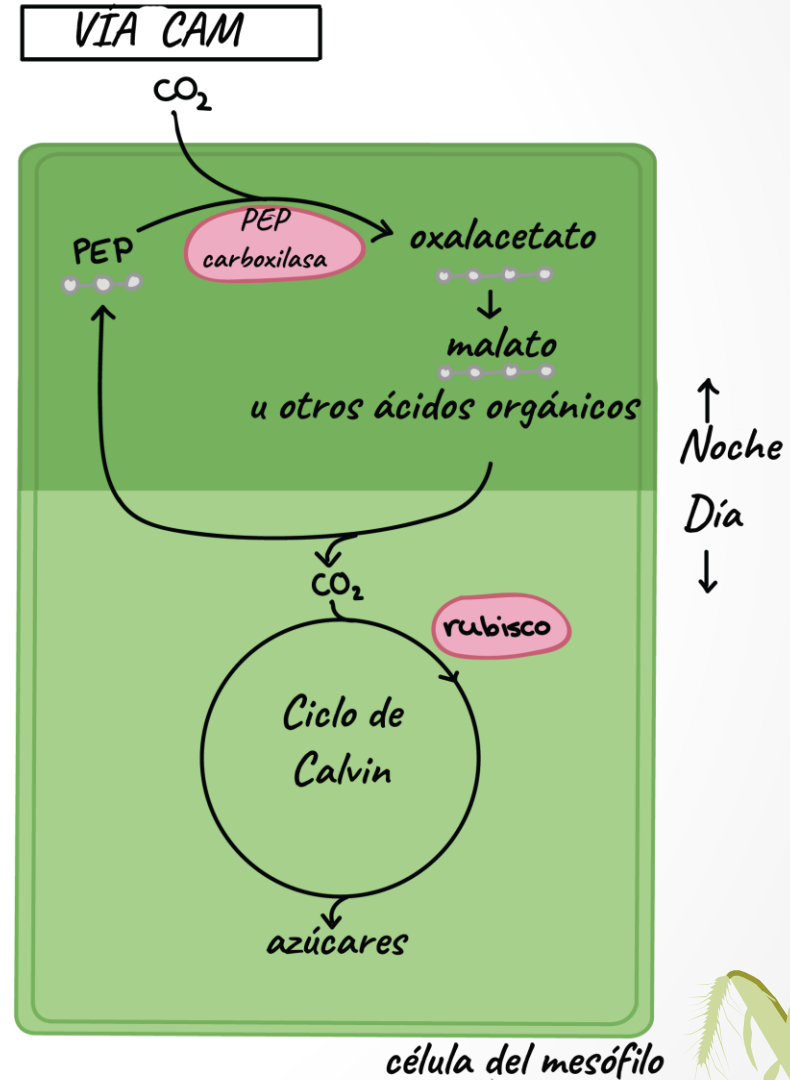
La mayoría de las plantas C4 presentan una anatomía foliar diferente a la de las plantas C3. En las plantas C3, el ciclo de Calvin se produce en todas las células fotosintéticas, mientras que, en las hojas de las plantas C4, se suele producir únicamente en las células envoltantes del haz, que rodea cada nervio foliar. Esta disposición en forma de anillo se suele denominar anatomía kranz (de la palabra alemana kranz, que quiere decir "corona" o "halo"). Todas las células del mesófilo de una hoja C4 utilizan únicamente la ruta C4. Estas células del mesófilo alimentan las células envoltantes del haz con el  $\text{CO}_2$  contenido en los compuestos orgánicos, donde se libera y vuelve a fijarse mediante el ciclo de Calvin. Por tanto, las células envoltantes del haz poseen grandes concentraciones de  $\text{CO}_2$ , lo que permite que la rubisco fije  $\text{CO}_2$  en lugar de  $\text{O}_2$ .

# 3. Vía fotosintética CAM

- Realizado en plantas que metabolizan el ácido crasuláseo.
- Las plantas CAM se caracterizan por reducir al máximo la pérdida de agua.

Metabolismo ácido de crasuláceas (CAM), toman  $\text{CO}_2$  durante la noche utilizando la ruta  $\text{C}_4$ , y luego llevan a cabo el ciclo de Calvin durante el día.

Las plantas CAM habitan en regiones donde las altas temperaturas obligan a cerrar los estomas durante el día para evitar una pérdida excesiva de agua. Utilizan de forma rápida el  $\text{CO}_2$  almacenado durante la noche, por lo que la producción general fotosintética es menor que en otras plantas.



célula del mesófilo



[El siguiente link, tiene explicaciones y videos que pueden usar.](https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants#introduction-to-stages-of-photosynthesis)  
<https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants#introduction-to-stages-of-photosynthesis>

