



# LA FOTOSÍNTESIS

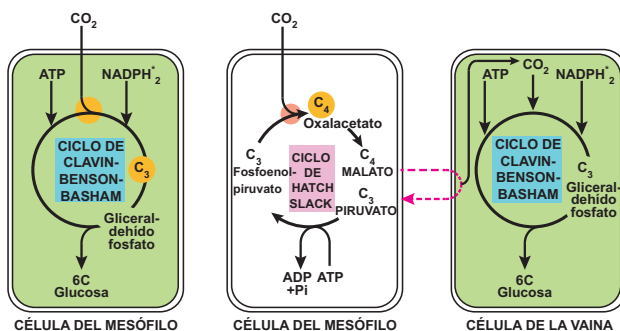
### Introducción

La fotosíntesis requiere agua y dióxido de carbono. Por ello, podríamos pensar que una hoja ideal debería tener un área superficial grande para interceptar mucha luz solar y ser muy porosa para que el  $\text{CO}_2$  en abundancia entre en la hoja desde el aire. En el caso de las plantas terrestres, empero, la porosidad al  $\text{CO}_2$  de las hojas también permite que el agua se evapore fácilmente. La pérdida de agua por las hojas es una causa principal de tensión para las plantas terrestres y puede incluso llegar a ser fatal.

Muchas plantas han desarrollado hojas que constituyen una especie de acuerdo o término medio en obtener un abasto suficiente de  $\text{CO}_2$ .

### Tipos de fotosíntesis

- ▶ Fotosíntesis anoxigénica
  - ❖ Realizado por sulfobacterias, púrpuras verdes.
  - ❖ No se libera oxígeno porque no interviene el  $\text{H}_2\text{O}$  sino el  $\text{H}_2\text{S}$ , se libera  $\text{S}$ .
- ▶ Fotosíntesis oxigénica
  - ❖ Realizado por algas y plantas
  - ❖ El oxígeno liberado proviene de la fotólisis del agua.
  - ❖ Puede ser  $\text{C}_3$  o  $\text{C}_4$ , o plantas CAM.



### ▶ Fotosíntesis $\text{C}_3$

En las plantas  $\text{C}_3$ , una enzima llamada rubisco juega un papel clave en la fotosíntesis. Esta enzima convierte las moléculas de dióxido de carbono en un azúcar de cinco carbonos, comenzando el primer paso en el ciclo de Calvin, que convierte

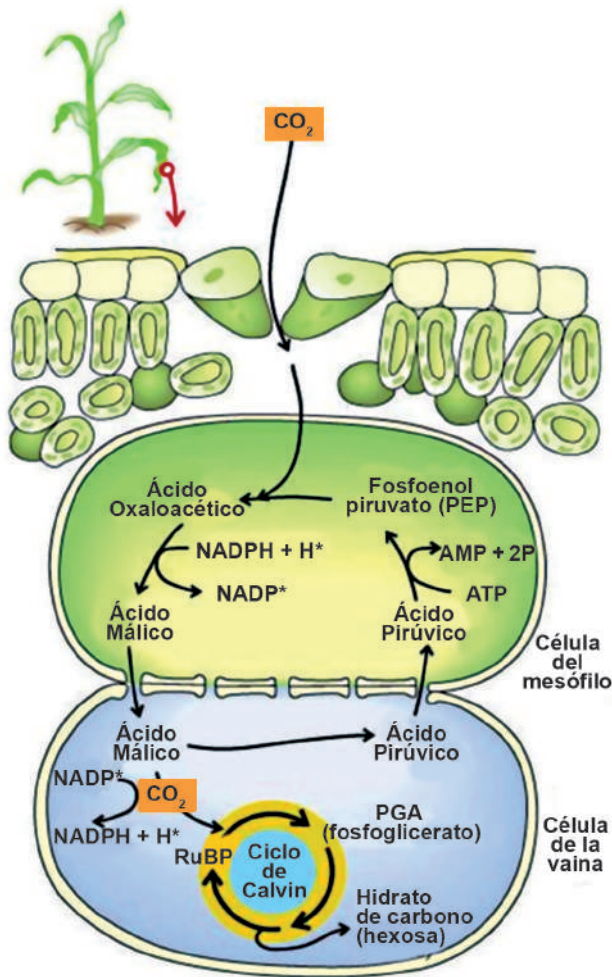
el dióxido de carbono en azúcar. Estas moléculas de seis átomos de carbono casi inmediatamente se rompen en moléculas de tres carbonos, de ahí el nombre  $\text{C}_3$ , por los tres carbonos. Sin embargo, la rubisco también puede unirse al oxígeno en lugar de dióxido de carbono, causando un proceso llamado fotorrespiración. Cuando se produce la fotorrespiración, la resultante de dos carbonos compuestos se exporta desde el cloroplasto y son descompuestos; este proceso consume energía y hace menos eficiente la fotosíntesis de la planta.

Ejemplos de plantas de  $\text{C}_3$ : lapacho, algarrobo, palo borracho, eucalipto, pino, jacaranda, cebada, las papas y los dientes de león, etc.

### ▶ Fotosíntesis $\text{C}_4$

Cuando la fijación del  $\text{CO}_2$  atmosférico ( $1\text{C}$ ) es realizado por el fosfoenolpiruvato ( $3\text{C}$ ). Se le llama  $\text{C}_4$  porque el compuesto formado tiene 4 carbonos y se le denomina ácido oxalacético.

En las plantas  $\text{C}_4$ , los dos tipos diferentes de células están implicadas en la fotosíntesis. En el primer grupo, las células de las vainas del haz se forman alrededor de las venas de las hojas, mientras que del otro grupo, las células del mesófilo, se organizan alrededor de la capa de la envoltura del paquete. El  $\text{CO}_2$  es capturado en las células mesófilas, donde una enzima llamada PEP (por sus siglas en inglés) carboxilasa, añade el  $\text{CO}_2$  a un compuesto llamado fosfoenolpiruvato (PEP) para hacer un producto de cuatro carbonos. Este producto de cuatro carbonos se exporta a las células de la vaina del haz, donde se descompone en  $\text{CO}_2$ , la enzima rubisco entonces toma este  $\text{CO}_2$  y lo introduce en el ciclo de Calvin. A diferencia de rubisco, la PEP carboxilasa tiene poca o ninguna afinidad por el oxígeno, por lo que este proceso de dos etapas ayuda a minimizar la extensión de la fotorrespiración al aumentar las concentraciones de  $\text{CO}_2$  en las células de la vaina del haz, donde el ciclo de Calvin se lleva a cabo. La etapa inicial de fijación de  $\text{CO}_2$  y su liberación posterior son denominados Ciclo de Hatch-Slack.



Ejemplo de Crasulácea: *Bryophyllum calycinum*

Estas plantas habitan en regiones áridas y secas, donde el factor limitante es agua, por lo que han desarrollado un mecanismo adaptativo, que le ofrece una ventaja ecológica como es el cierre de estomas en el día y su apertura en la noche.

Ejemplos de plantas CAM

*Aloe vera* (sábila), *Ananas comosus* (piña), *Aechmea* sp. (bromelias), *Cattleya* sp. (Orquídeas), *Opuntia basilaris*.

## Plantas C.A.M. (metabolismo ácido de Crasuláceas)

Son plantas adaptadas para la vida en los climas secos, puesto que la incorporación de  $\text{CO}_2$  solo ocurre en la noche. El  $\text{CO}_2$  es fijado por el fosfoenolpiruvato (3C) hasta compuestos de cuatro carbonos, como el ácido málico que se acumula en la vacuola.

En el día, los estomas están cerrados; sin embargo, se dispone de mucho  $\text{CO}_2$  para el ciclo de Calvin. Entonces, ¿cómo se obtiene  $\text{CO}_2$  durante el día? El ácido málico (malato) almacenado es descarboxilado y convertido en piruvato. La variación en la acidez de las vacuolas fue descubierta en la especie *Bryophyllum calycinum* que pertenece a la familia *Crassulaceae* y, en consecuencia, se denominó metabolismo ácido de crasuláceas (CAM).

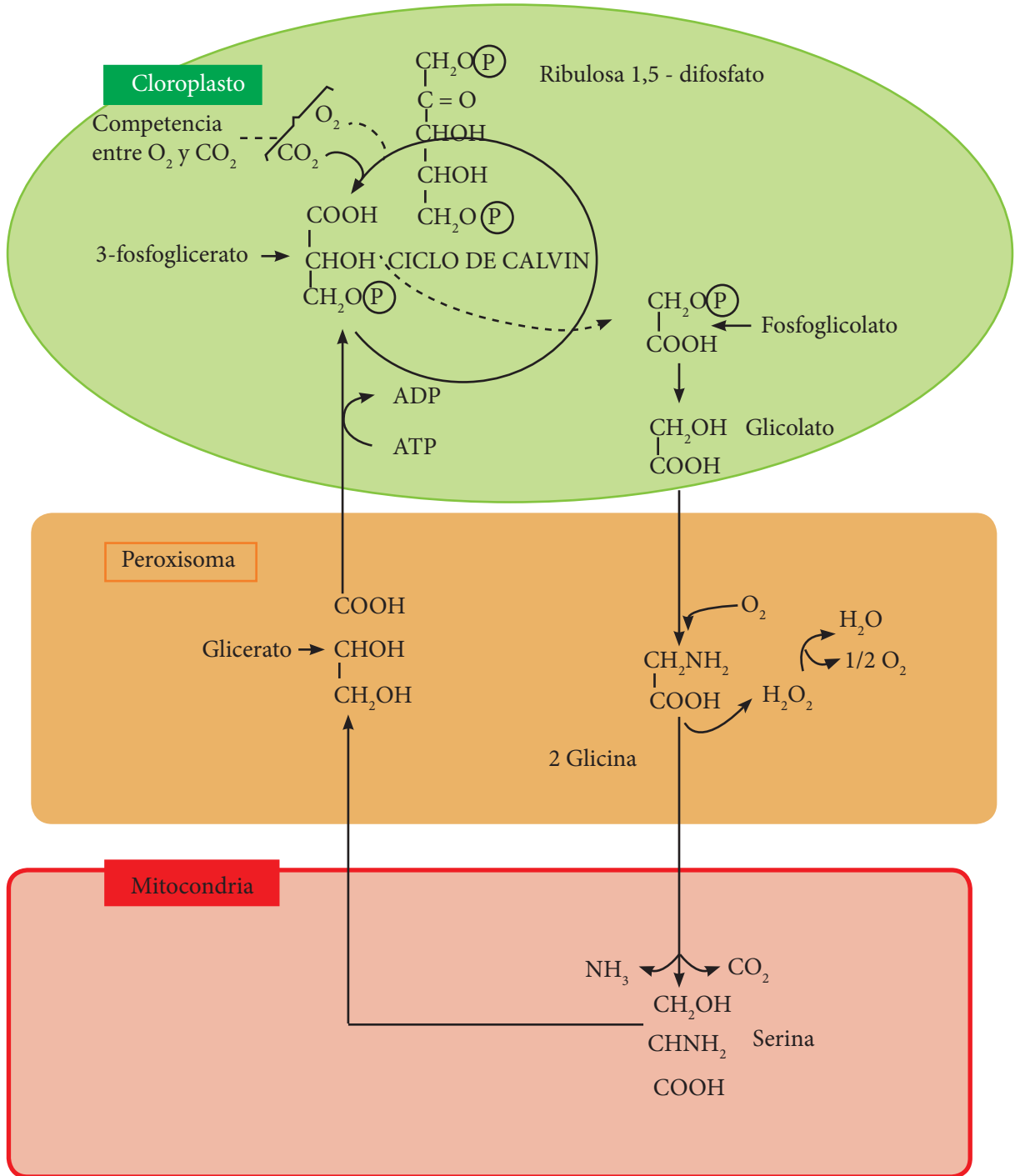
## FOTORRESPIRACIÓN

La enzima que incorpora  $\text{CO}_2$  al RuBP (ribulosa difosfato); en el ciclo de Calvin se denomina carboxilasa de bifosfato de ribulosa. En condiciones de baja concentración de  $\text{CO}_2$  y alta concentración de  $\text{O}_2$ , esta enzima se une al  $\text{O}_2$  y de esa manera cataliza la oxidación del RuBP primero a ácido glicólico, luego a  $\text{CO}_2$  en los peroxisomas.

La fotorrespiración ocurre durante los días muy calurosos, soleados y secos, cuando los estomas se cierran para impedir la pérdida de agua y se acumula  $\text{O}_2$  en el interior de las hojas.

En algunos vegetales, la fotorrespiración es inhibida por la vía C4.

## FOTORRESPIRACIÓN



## RESPIRACIÓN CELULAR

### I. Importancia biológica

1. Es la fuente de  $\text{CO}_2$  natural, necesario para el proceso fotosintético.
2. Es un proceso que permite la transformación de la energía química en energía mecánica.

### II. Definición

Es un proceso catabólico de tipo exergónico donde la energía química de enlace es transformada en energía mecánica o calórica.

### III. Tipos

Hay dos tipos: respiración aeróbica y respiración anaeróbica.

## RESPIRACIÓN ANAERÓBICA

1. Organismos: Bacterias y hongos del grupo de las levaduras.
2. Ubicación: Citosol celular

### A. Glucólisis

La glucólisis es una secuencia compleja de reacciones que se efectúan en el citosol de una célula mediante las cuales una molécula de glucosa se desdobla en dos moléculas de ácido pirúvico (piruvato), este desdoblamiento produce una pequeña ganancia de energía de dos moléculas de ATP y dos moléculas transportadoras de electrones (e hidrogeniones)  $\text{NADH}_2$ . La glucólisis en forma energética comprende tres procesos secuenciales: activación, oxidación y fosforilación, hasta convertirse en ácido pirúvico.

En las activaciones de la glucosa, en una molécula, ocurre en dos reacciones de catalización enzimática, cada una de ellas utiliza energía de ATP. Estas reacciones convierten una molécula relativamente estable de glucosa en una molécula muy reactiva de fructosa 1,6 difosfato (FDP). Formar FDP le cuesta a la célula dos ATP, pero su consumo inicial de energía es necesario para producir mucho mayor energía al final.

Otro proceso es la transformación de PGAL hacia ácido pirúvico, dos electrones de alta energía y un hidrogenion se agregan al transportador de electrones vacío  $\text{NAD}^+$ ; para formar el transportador energizado  $\text{NADH}_2$  se produce dos moléculas de PGAL por cada molécula de glucosa, de tal manera que se forman dos transportadores  $\text{NADH}_2$ . En los pasos para producir energía, las dos mo-

léculas de PGAL pasan por una serie de reacciones que terminan por producir dos moléculas de ácido pirúvico, cada una a partir de PGAL. Dos de estas reacciones están asociadas a las síntesis de ATP, generan dos moléculas de ATP por cada PGAL, para un total de cuatro ATP. Debido a que se utilizan dos moléculas de ATP para activar a la glucosa en el primer proceso, hay una ganancia neta de solo dos ATP por cada molécula de glucosa.

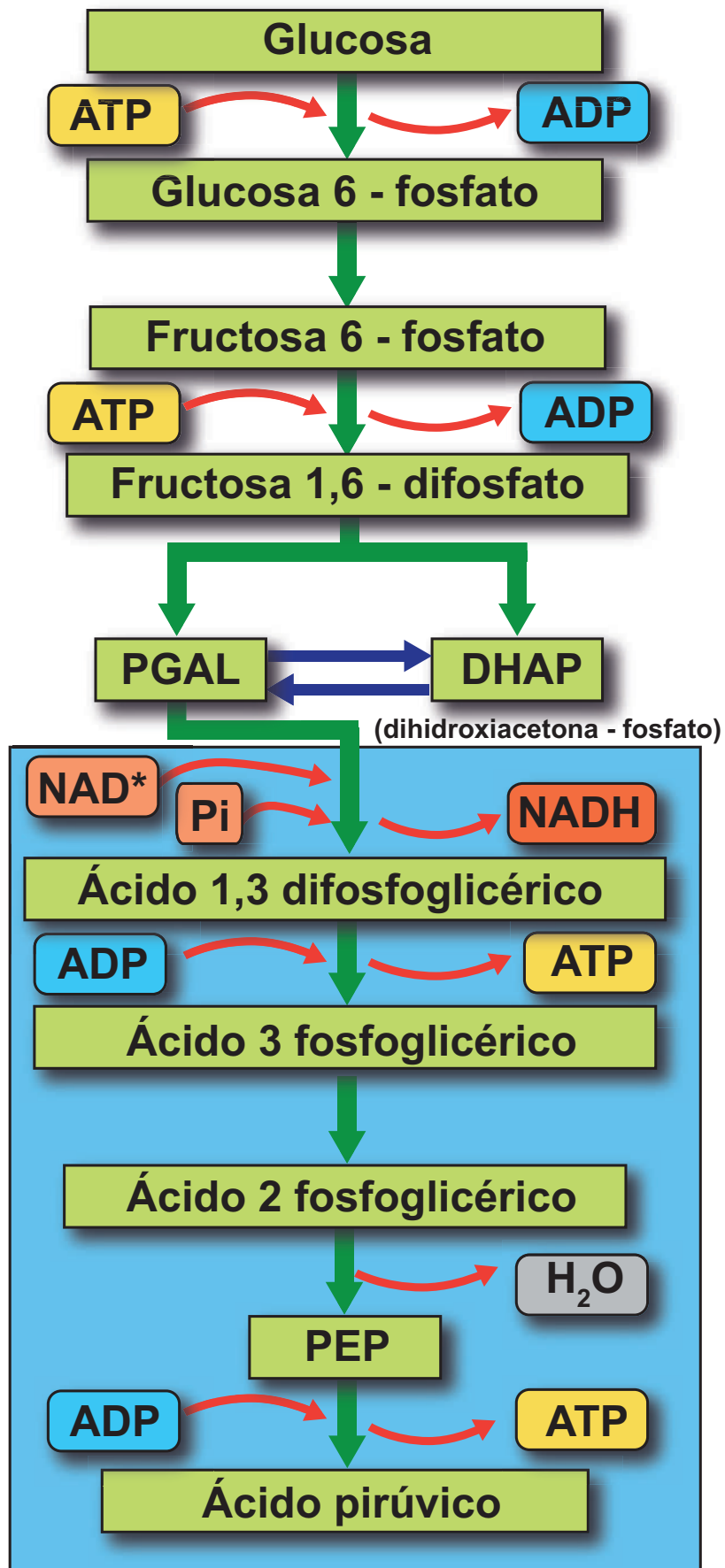
### B. FERMENTACIÓN

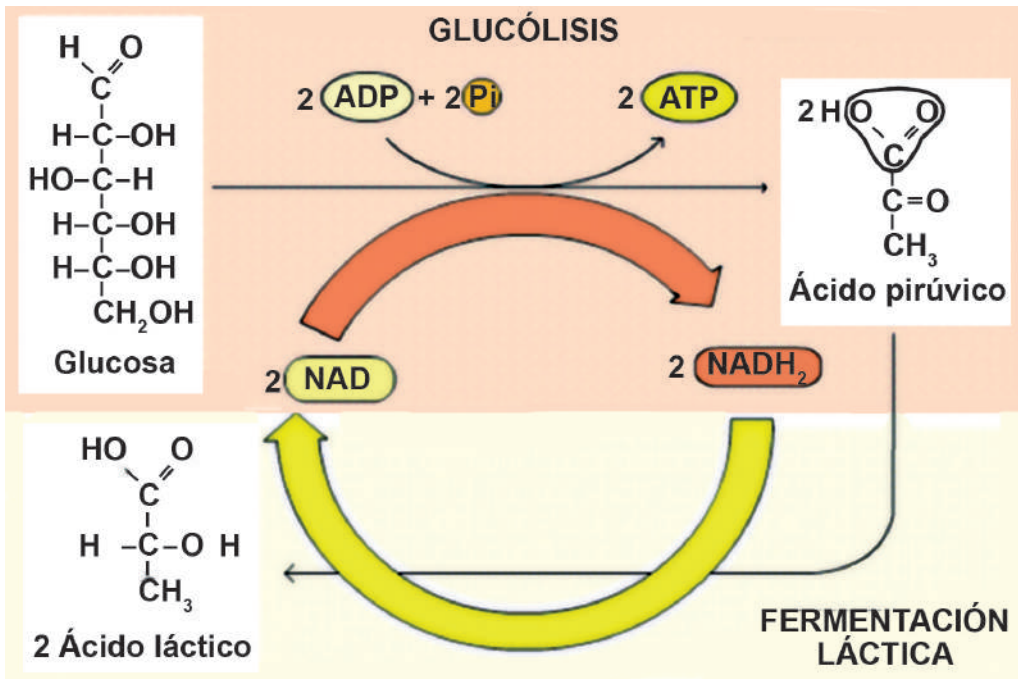
Los electrones transportados en el  $\text{NADH}_2$  son altamente energéticos, pero su energía puede utilizar para formar ATP solo cuando hay oxígeno disponible. Muchos organismos (especialmente microorganismos) sobreviven en los intestinos de los animales, en el suelo profundo, en sedimentos que se encuentran bajo los lagos y océanos, o en pantanos donde el oxígeno esté casi o totalmente ausente. En condiciones anaeróbicas, la producción de  $\text{NADH}_2$  no es método de captura de energía. De hecho es una forma de deshacerse de los hidrogeniones y de los electrones producidos durante el metabolismo de la glucosa en ácido pirúvico. Pero este método representa un problema para la célula, porque el  $\text{NAD}^+$  se utiliza como aceptor de electrones e iones de hidrógeno para formar  $\text{NADH}_2$ . Sin una forma de regenerar el  $\text{NAD}^+$  y para deshacerse de los electrones e iones de hidrógeno, la glucólisis tendría que detenerse una vez que se hubiera agotado la concentración de  $\text{NAD}^+$ .

La fermentación soluciona este problema al permitir que el piruvato actúe como el aceptor final de electrones y de iones hidrógeno, a partir de  $\text{NADH}_2$ . Así el  $\text{NAD}^+$  se regenera para su uso en la glucólisis posterior. Hay dos tipos principales de fermentación; una convierte el piruvato en ácido láctico (lactato) y la otra en dióxido de carbono y etanol.

## Advertencia pre

No olvides que los estomas de las plantas CAM se abren solo de noche.

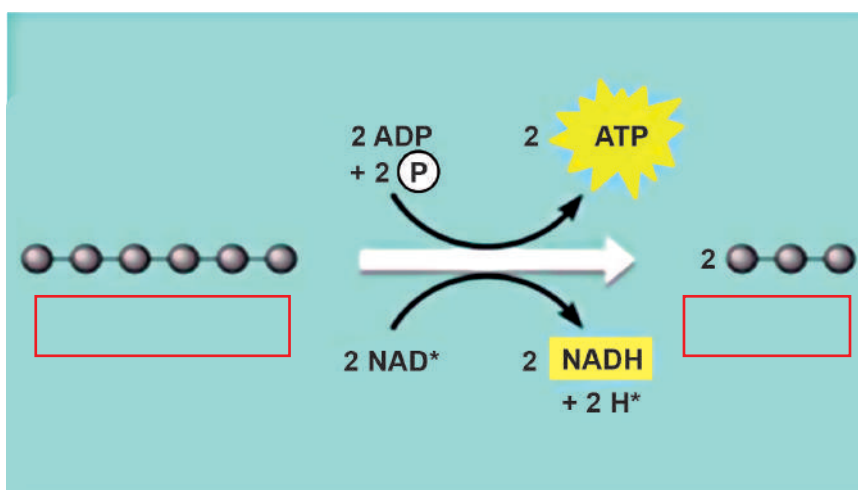




## Retroalimentación

1. Son organelas que participan en la fotorespiración:  
 \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
2. Menciona tres ejemplos de plantas C4:  
 \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
3. Las crassuláceas tienen los \_\_\_\_\_ cerrados durante el día y \_\_\_\_\_ en la noche.
4. Menciona tres ejemplos de crassuláceas:  
 \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## Trabajando en clase



## Verificando el aprendizaje

- Es la planta en la cual se descubrió la variación de la acidez en las vacuolas:
  - Salmonella typi
  - Solanum tuberosum
  - Cantua buxifolia
  - Bryophyllum calycinum
  - Periplaneta americana
- Un ejemplo de plantas C3 sería el grupo de \_\_\_\_.
  - Crassulaceas
  - Pteridofitas
  - Monocotiledóneas
  - Dicotiledóneas
  - Briofitas
- Compuesto químico que fija el CO<sub>2</sub> en las plantas CAM:
  - Ribosima
  - Ribulosa monofosfato
  - Ribulosa bifosfato
  - Fosfoenolpiruvato
  - Estoma
- Son ejemplos de plantas C4:
  - Crassulaceas
  - Pteridofitas
  - Gramíneas
  - Todas las dicotiledóneas
  - Briofitas
- Si se agota el O<sub>2</sub> en la célula muscular, esta, al realizar su metabolismo, producirá:  
(UNALM, 2005-II)
  - CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O
  - Acetaldehído y 2 ATP
  - Lactato y NADH<sub>2</sub>
  - Etanol y CO<sub>2</sub>
  - 38 ATP
- Es cierto acerca de las bacterias del azufre:
  - Son fotolitótrofes
  - No requieren de CO<sub>2</sub>
  - Tienen nutrición heterótrofa
  - Son autótrofas
  - Oxidan sustancias orgánicas
- En plantas como el *Bryophyllum calycinum*, se obtiene CO<sub>2</sub> durante el día mediante:
  - Degradación de glucosa
  - Descarboxilación del malato
  - Fosforilación del piruvato
  - Síntesis de gliceraldehído
  - Descarboxilación del fosfoenolpiruvato
- Señala en qué regiones habitan las plantas CAM.
  - Tropicales
  - Áridas
  - Húmedas
  - Secas
  - b y d
- Señala en qué lapso las plantas como el cactus liberan gases:
  - Día
  - Mañana
  - Noche
  - Tarde
  - Mediodía
- La glucólisis forma dos piruvatos, estos, al entrar a la mitocondria, se convierten en \_\_\_\_\_.  
(UNALM, 2008-I)
  - NADH<sub>2</sub>
  - ATP
  - Acetil CoA
  - Citrato
  - FADH