

Bambusa arundinacea
Bambú

Imagen propia:
U. Pérez López



[Diseño de Diapositiva](#)



¿Sabías que esta planta
crece hasta 91 cm a diario.
O, lo que es lo mismo, 0,00003
kilómetros por hora?

*Si quieres conocer los procesos
fisiológicos que se esconden tras
este record, avanza en el temario*



Mediante esta planta record se van a abordar los siguientes procesos fisiológicos:

1.

Crecimiento y desarrollo

2.

Fotosíntesis

1.

Crecimiento y desarrollo

1a.

Terminología y conceptos básicos

1b.

La planta como estructura axial, polar y radial

1c.

La planta con crecimiento indefinido

1d.

Regulación del desarrollo

1e.

Determinación del crecimiento

Crecimiento

Cambios cuantitativos que tiene lugar durante el desarrollo, por tanto, se define como un **incremento irreversible** en tamaño.



Imagen propia: U. Pérez López

Diferenciación

Conjunto de cambios que hacen posible la **especialización celular**, para que las células lleguen a ser estructural y funcionalmente diferentes.



Imagen propia: U. Pérez López

(Foto)morfogénesis

Proceso **que integra y coordina el crecimiento y la diferenciación** y que explica el **origen de los caracteres morfológicos y la forma global del organismo**.

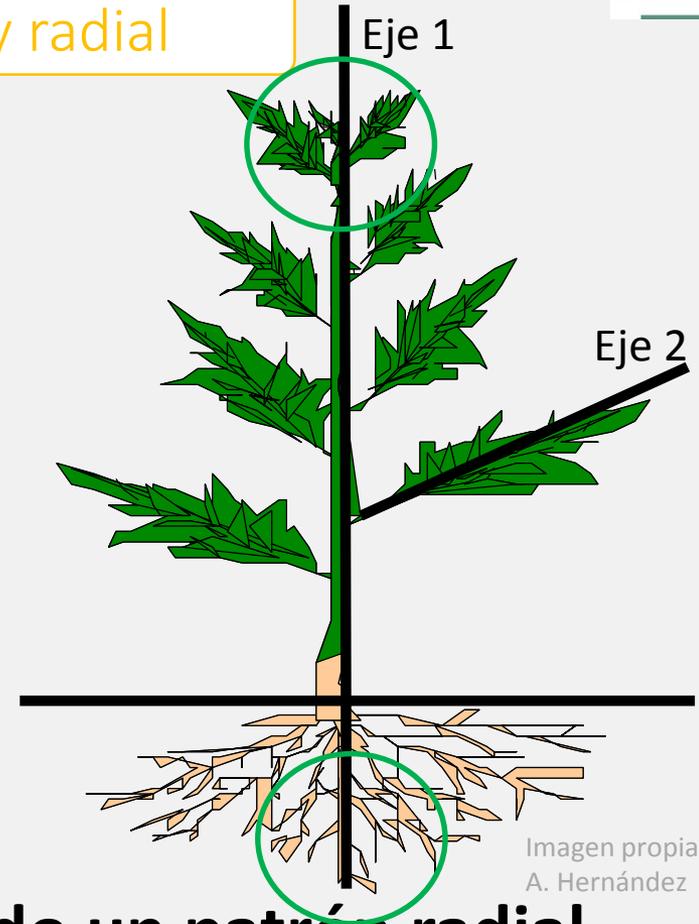
1b. La planta como estructura axial, polar y radial

Estructura axial

Ordenación simétrica sobre un eje.
Suelen tener más de un eje.

Estructura polar

Extremos apicales del eje distintos.



Los tejidos se estructuran siguiendo un patrón radial en todos los órganos

- 1) Epidermis (defensa).
- 2) Cortex en tallo y raíz (relleno) / Mesófilo en hojas (relleno y fotosíntesis).
- 3) Xilema y floema (transporte).

1c. La planta con crecimiento indefinido

- En la embriogénesis de los mamíferos se define el plan del cuerpo completo y el de sus sistemas de órganos, por lo que la forma del mamífero al nacer es muy similar a la del adulto.
- En la embriogénesis vegetal **se define el eje embrionario con un patrón polar y radial** (pero no se definen los distintos órganos), por tanto, un embrión muy similar puede dar plantas adultas muy diferentes.



Embrión de pino. [CC BY-NC-SA 2.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/)



Embrión de *Phebalium daviesii*. [CC BY-NC-SA 2.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/)

1c. La planta con crecimiento indefinido

- El desarrollo de las plantas es básicamente postembrionario. El embrión que es parte de la semilla **carece de órganos y éstos se forman después de la germinación, gracias a la actividad de los meristemas.**

- El hábito de **crecimiento indeterminado** es consecuencia de la adaptación de las plantas al medio terrestre y posibilita que estos organismos, carentes de capacidad locomotora, puedan responder a los cambios ambientales activando nuevos programas de desarrollo.



Planta de *Malus domestica*

Imagen propia:
U. Pérez López

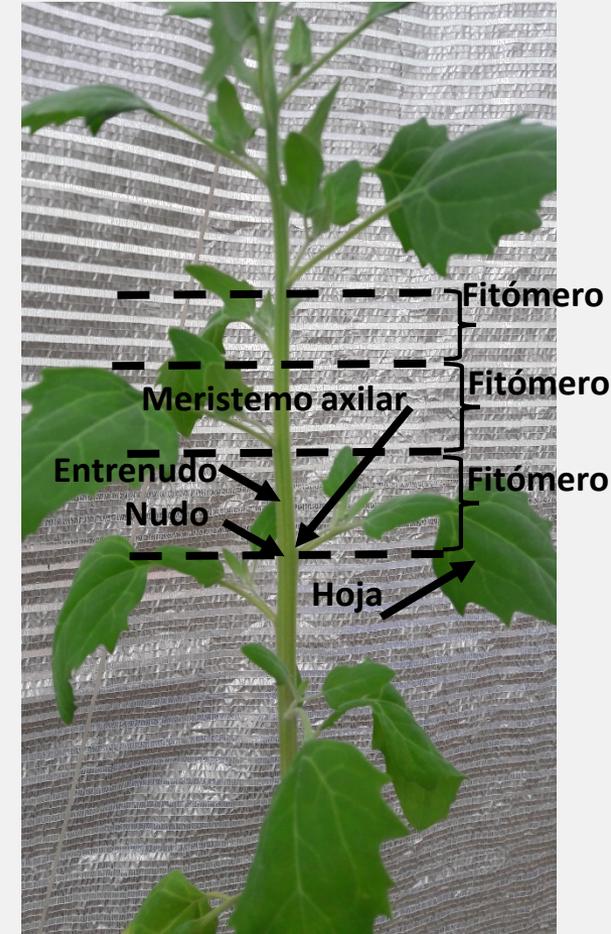


Planta de *Plantago lanceolata*

Imagen propia:
U. Pérez López

1c. La planta con crecimiento indefinido

- El cuerpo primario aumenta de tamaño mediante la suma de estructuras en forma de módulos o también llamados fitómeros.
- El módulo generado por el meristemo apical del tallo (denominado fitómero) comprende:
 - un órgano lateral (la hoja).
 - un nudo, al que se une la hoja .
 - un meristemo axilar (la yema axilar localizada en la axila de hoja).
 - un entrenudo .
- A medida que las células meristemáticas proliferan, se van produciendo nuevos fitómeros que se alejan progresivamente de los ápices.

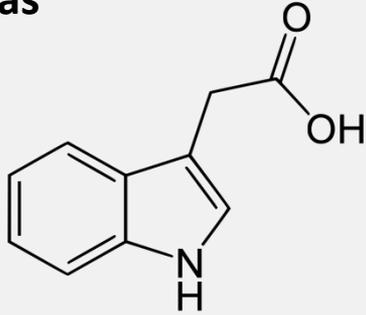


Fitómeros marcados por líneas discontinuas en planta de quinoa.

Imagen propia: U. Pérez López

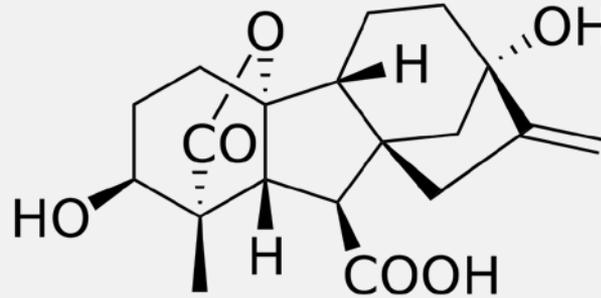
- El desarrollo de las plantas es un proceso coordinado e integrado a través de gran número de señales, entre las que se encuentran las señales **ambientales** y **endógenas**.
- Al ser **organismos sésiles** deben hacer ajustes en respuesta al ambiente:
 - Para aprovechar las condiciones favorables.
 - Para sobrevivir en condiciones desfavorables.
- Para facilitar estos ajustes las plantas han desarrollado **un sofisticado sistema de percepción**.
- En estos sistemas de percepción participan las **hormonas vegetales**.
 - Auxinas**
 - Giberelinas**
 - Citoquininas**
 - Etileno**
 - Ácido abscísico**

Auxinas



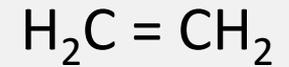
Ácido indolacético (AIA). [Dominio público](#)

Giberelinas



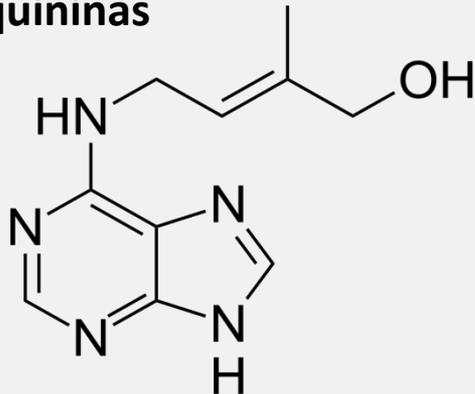
Giberelina GA1. [Dominio público](#)

Etileno



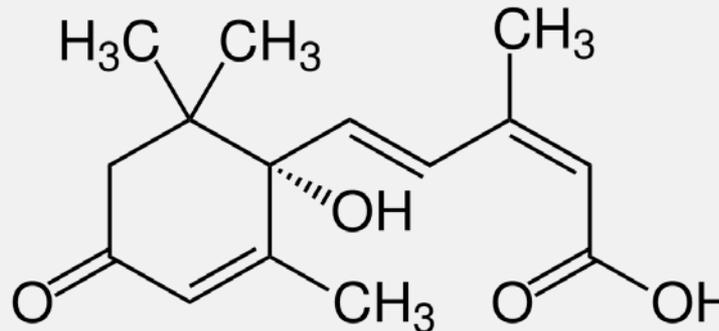
Etileno.

Citoquininas



Zeatina. [Dominio público](#)

Ácido abscísico

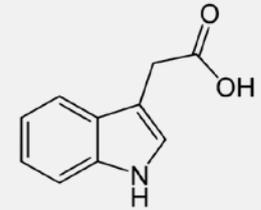


ABA. [Dominio público](#)

- El desarrollo es un proceso donde **participa más de una hormona**.
- Por eso, a veces es **difícil separar la función específica** de cada hormona.
- **Una hormona participa en más de un proceso de desarrollo**.
- Para que las hormonas sean **señales efectivas, la concentración y la sensibilidad a cada hormona debe ser estrictamente regulada** de una manera célula-específica, tejido-específica, dependiente de la etapa de desarrollo.
- Dependiendo del grupo funcional, **un mismo proceso puede estar regulado por diferentes hormonas**.

AUXINAS: Funciones en las distintas etapas del desarrollo de la planta

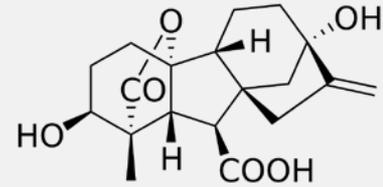
- Participa en la expansión celular, así como en la división y diferenciación celular. Ej: Induce el fototropismo (ver Tema 3).
- Induce la diferenciación vascular.
- Inhibe el comienzo de la abscisión de las hojas.
- Favorece el desarrollo del fruto.
- Favorece la formación de raíces laterales y adventicias.
- Regula la dominancia apical.
- Participa en el establecimiento del eje de polaridad apical-basal.
- Participa en la diferenciación de las diferentes zonas de la raíz.



Ácido indolacético (AIA).
[Dominio público](#)

GIBERELINAS: Funciones en las distintas etapas del desarrollo de la planta

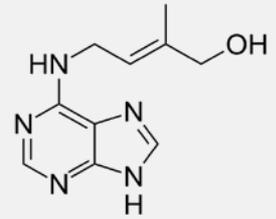
- Participan en la germinación de las semillas.
- Participan en la elongación del tallo y las raíces.
- Participa en el cuajado del fruto y en la partenocarpia.
- Aumentan la extensibilidad de la pared celular sin acidificarla.
- Participan en el desarrollo y maduración de los frutos.



Giberelina GA1.
[Dominio público](#)

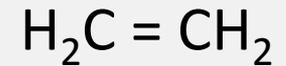
CITOQUININAS: Funciones en las distintas etapas del desarrollo de la planta

- Participan en el crecimiento ya que participan en la formación y actividad de los meristemos apicales.
- Regulan la división celular en tallos y raíces, además regulan los componentes específicos del ciclo celular.
- Junto con las auxinas participan en la organogénesis.
- Retrasan la senescencia foliar.
- Regulan la diferenciación vascular y rompen la dormancia de las yemas.
- Promueven la expansión celular en hojas y cotiledones.
- Regula el crecimiento de tallos y hojas.
- Son necesarias para que los meristemos se mantengan como células sin diferenciar.



Zeatina.

[Dominio público](#)

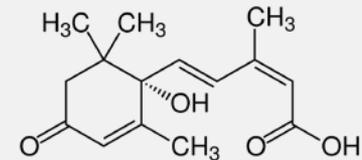
ETILENO: Funciones en las distintas etapas del desarrollo de la planta

Etileno.

- Participa en la maduración de frutos.
- Induce la floración en la familia de la piña.
- Aumenta la velocidad de senescencia de la hoja.
- Induce la abscisión de hojas y flores (en interacción con auxinas).

ÁCIDO ABSCÍSIICO: Funciones en las distintas etapas del desarrollo de la planta

- Participa en la última fase del desarrollo de la semilla, promoviendo el almacenamiento de reservas e incrementando la tolerancia a la desecación.
- Inhibe la germinación temprana y la viviparidad.
- La germinación está controlada por la razón de ABA y GA (El ABA inhibe la síntesis de enzimas inducidas por GA).



ABA.

[Dominio público](#)

1d.

Determinación del crecimiento

1. Determinación de la materia seca producida (= peso seco, PS).

$$PS \text{ (PS total)} = PS \text{ hojas} + PS \text{ tallo} + PS \text{ raiz (g)}$$

2. Medida del área foliar total (AT).

$$AT \text{ (cm}^2\text{)}$$

- El crecimiento de la planta (medido como incremento de peso seco) depende no sólo de la fotosíntesis de una hoja individual sino más bien **de la integración de la fotosíntesis a nivel de planta entera** (es decir del componente funcional del crecimiento) **y de los costes de producción y mantenimiento del aparato fotosintético** (es decir el componente morfológico del crecimiento).
- La resultante de ambos factores contrapuestos viene definida como la **tasa de crecimiento relativo (RGR)** o la tasa de incremento de materia seca por unidad de masa presente y por unidad de tiempo.

3. Tasa de crecimiento relativo (RGR).

$$\text{RGR} = (\ln \text{PS2} - \ln \text{PS1}) / (t_2 - t_1) \quad (\text{g g}^{-1} \text{ d}^{-1})$$

t = tiempo

1 y **2**, tanto para **t** como **AT** y **PS** hacen referencia a los días entre los que se hace la comparativa.

4. Tasa de asimilación neta (NAR), componente funcional.

El NAR es la **cantidad de biomasa producida por unidad de superficie foliar**. Esto es, la medida de la eficiencia de los órganos asimiladores en producir nueva materia.

$$\text{NAR} = [(\text{PS2} - \text{PS1}) / (\text{AT2} - \text{AT1})] \times [(\ln \text{AT2} - \ln \text{AT1}) / (t_2 - t_1)] \quad (\text{g cm}^{-2} \text{ d}^{-1})$$

5. Relación de área foliar (LAR), componente morfológico.

El LAR es la **cantidad de área foliar por unidad de masa seca** de la planta, es decir, el tamaño del aparato asimilador por unidad de masa respiratoria (peso seca de la planta)

$$\text{LAR} = [(\text{AT2} - \text{AT1}) / (\text{PS2} - \text{PS1})] \times [(\ln \text{PS2} - \ln \text{PS1}) / (\ln \text{AT2} - \ln \text{AT1})] \quad (\text{cm}^2 \text{ g}^{-1})$$

De manera no destructiva

- Grosor y altura del tallo*
- Número de hojas y longitud de las hojas*
- Área foliar (no destructiva)*

De manera destructiva

- Peso fresco y peso seco de las hojas, tallos y raíces
- Área foliar (destructiva)*

*Estos parámetros se pueden calcular de forma tradicional o mediante análisis de imagen. <https://www.quantitative-plant.org/> (Software, Inglés)

(esta página web presenta distintas herramientas software para realizar análisis de imagen).

2.

Fotosíntesis

2a.

Definición

2b.

Cloroplastos

2c.

Fase fotoquímica

2d.

Fase bioquímica

2e.

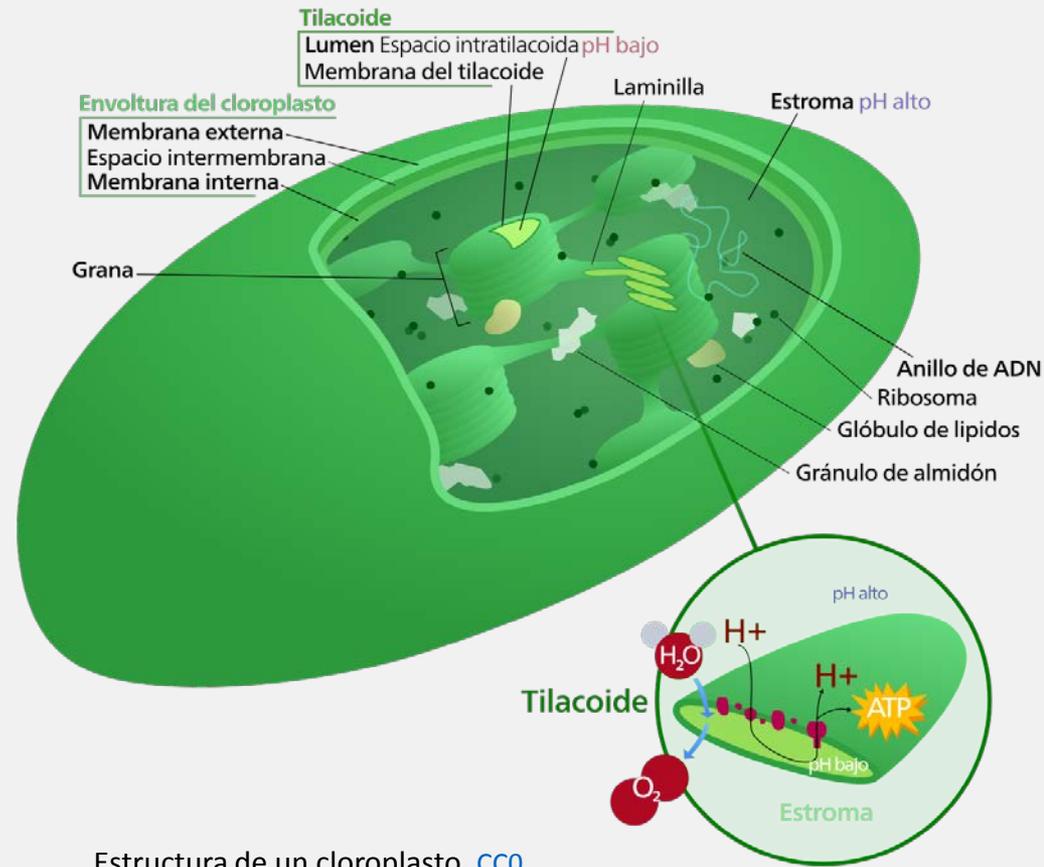
Determinación de la fotosíntesis

- El término **fotosíntesis** significa, literalmente, "síntesis por la luz". La fotosíntesis realiza, más específicamente, la síntesis de azúcares $(\text{CH}_2\text{O})_n$, a partir de compuestos **pobres en energía**: el anhídrido carbónico y el agua.
- En esencia, lo que la fotosíntesis hace es **obtener moléculas reducidas** (azúcares) **ricas en energía** a partir de moléculas **pobres en energía** como son el CO_2 y el H_2O . En este proceso también se produce O_2 como "desecho" ya que para la planta no es útil.
- El obtener algo rico en energía (azúcares) de algo pobre (anhídrido carbónico, o dióxido de carbono, y agua) **no es posible** a menos que se acople otro proceso, **una entrada de energía positiva**: que en el caso de la fotosíntesis es el **aprovechamiento de la energía de la luz**.



- Los **cloroplastos** son los orgánulos de la célula vegetal responsables de la fotosíntesis.

- **Estructura de los cloroplastos.** Su característica más importante es que contienen un sistema muy extenso y complejo de membranas plegadas, conocidas como **tilacoides** (*thylakoids*, del griego, "con forma de saco o bolsa"). Todas las clorofilas y pigmentos accesorios (carotenoides) se hallan en este sistema de membranas. Los tilacoides suelen asociarse o apilarse en **grana** (singular *granum*, por el aspecto de puntos oscuros, "granos", que dan a los cloroplastos cuando se observan con el microscopio de luz). Además de este sistema de membranas, el cloroplasto contiene una fase acuosa.



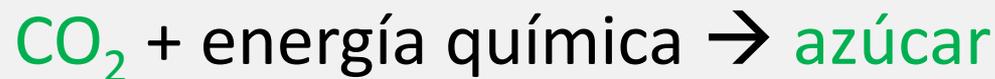
Estructura de un cloroplasto. [CCO](#)

- Así, de una manera sencilla, podemos decir que el cloroplasto tiene dos compartimentos: membranas con clorofilas (**fase tilacoidal**, de membranas y saquitos) y otra fase líquida, externa al complejo de membranas de los tilacoides, con enzimas (**estroma** o **fase estromática**, del griego "cama" o "manta, sobrecama o cobertor, algo que rodea a otra cosa").
- Esto es importante, porque la fotosíntesis se puede entender como **dos procesos consecutivos**:

Fase fotoquímica (luminosa)



Fase bioquímica (oscura)



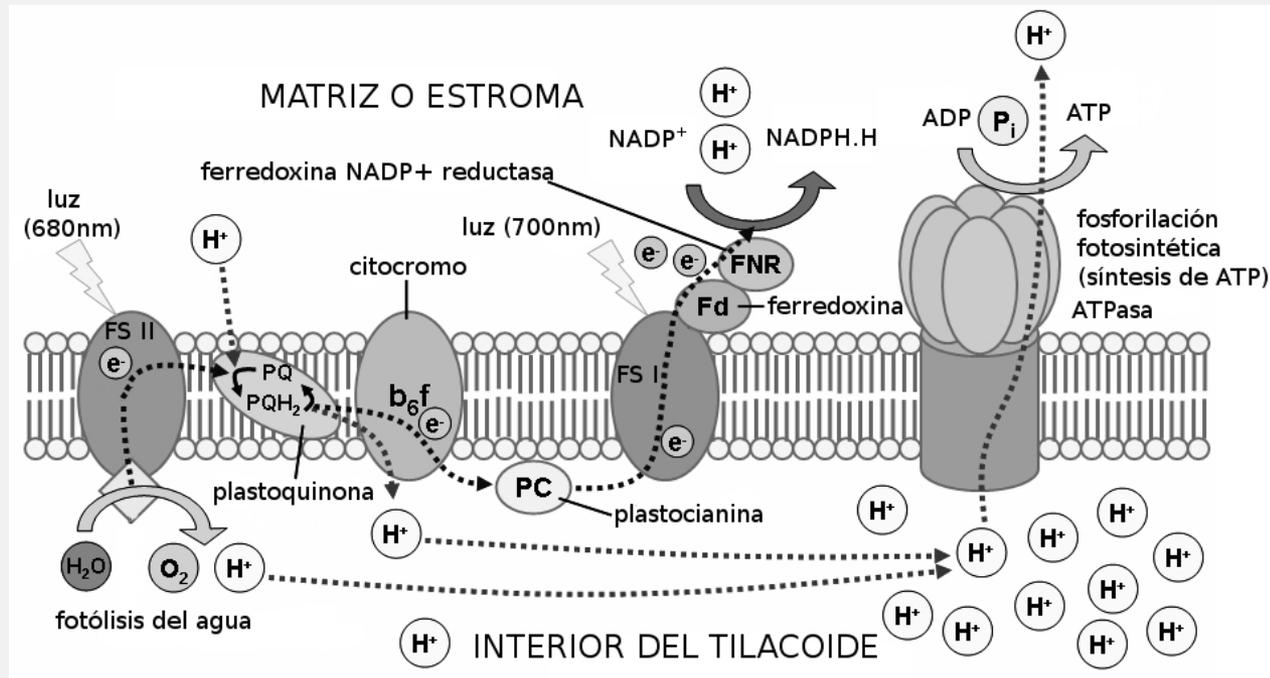
Fase fotoquímica (luminosa)



- Primero las clorofilas captan la luz y su energía, y esta energía la emplean para conseguir **energía** (ATP) y **poder reductor** (NADPH). A esta primera fase se la llama **Fotoquímica**, porque se utiliza la **energía de la luz para acoplarla a la obtención de moléculas ricas en energía y poder reductor** (ATP y NADPH).
- Los procesos de conversión de la luz (absorbida por las clorofilas y los carotenoides) en energía química de enlace son procesos secuenciales y complejos que requieren de **cooperación de muchas moléculas de pigmentos** y un grupo de proteínas de transferencia electrónica. La mayoría de los pigmentos actúan en los **sistemas antena**, recogiendo luz y transfiriendo su energía a los **centros de reacción**, donde tienen lugar las reacciones de oxidación y reducción continuas que promueven el flujo de electrones por una cadena de **transportadores electrónicos**.

Debe tenerse en cuenta que en este proceso se hallan implicados dos mecanismos que funcionan acoplados y al unísono, aunque su naturaleza química sea diferente:

- **Cadena de transporte electrónico:** conduce los electrones y origina poder reductor como **NADPH** en el estroma.
- **Acoplamiento quimiosmótico,** acumulación de protones (H^+) en el lumen del tilacoide: originará **ATP** en el lado del estroma.



Membrana del tilacoide. [Dominio público](#)

Fase bioquímica (oscura)



El ATP y el NADPH quedan en la fase líquida del **estroma**, y a disposición de las enzimas del ciclo de Calvin (o de Calvin-Benson), para que estas puedan fijar el anhídrido carbónico (CO_2) y producir azúcares. Esta segunda etapa suele denominarse la **fase Bioquímica** de la fotosíntesis.

La primera enzima que participa se denomina abreviadamente **Rubisco** o, a veces también **RubisCO** (ribulosa bisfosfato **carboxilasa/oxigenasa**). Esto es así porque puede tener tanto un efecto carboxilante (**carboxilasa**, fija el CO_2), como oxigenante (**oxigenasa**, mete oxígeno, O_2 , a la molécula).

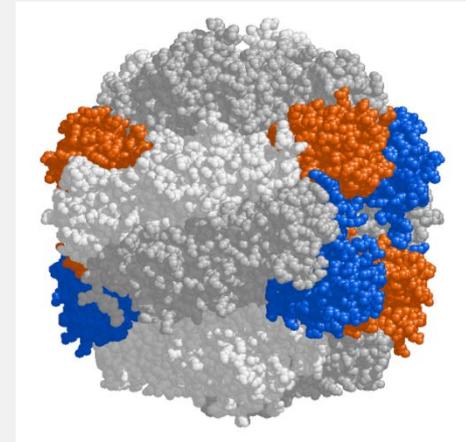
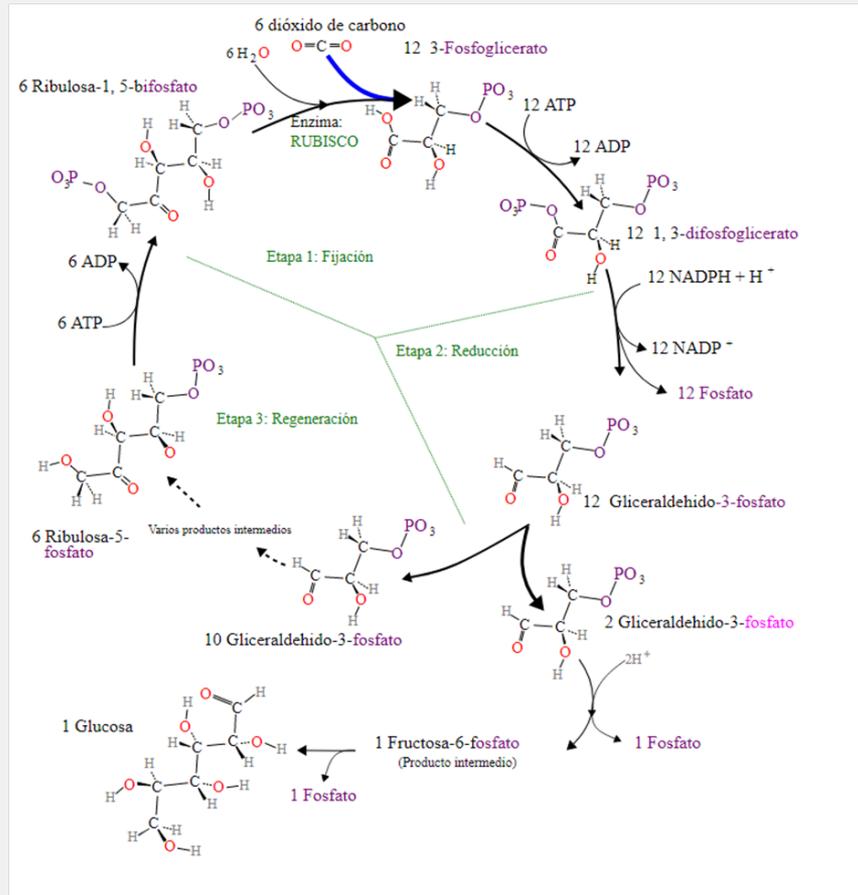


Imagen en 3D de la enzima RubisCO. [Dominio público](#)

También es importante destacar que el primer producto que aparece con carbono fijado del ciclo de Calvin es el ácido fosfoglicérico (**PGA** o **3-P-glicerato** -3-fosfoglicerato-): una molécula de **3 átomos de carbono**.

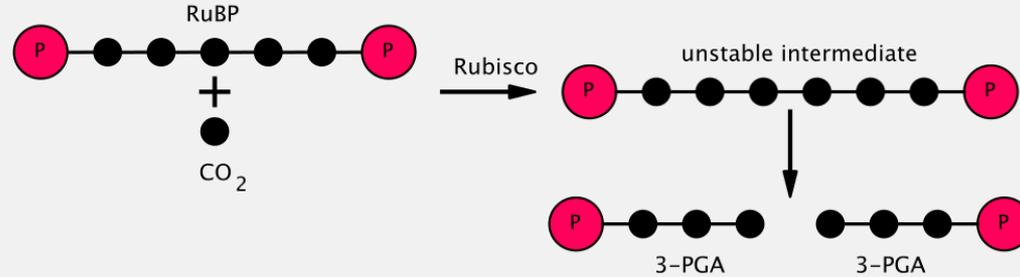


El ciclo de Calvin ocurre en tres etapas:

- Etapa 1: Fijación de C
- Etapa 2: Reducción
- Etapa 3: Regeneración de la ribulosa

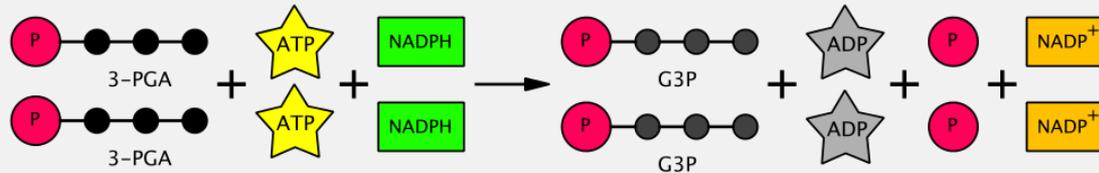
El ciclo de Calvin ocurre en tres fases

Fase 1: Fijación de C



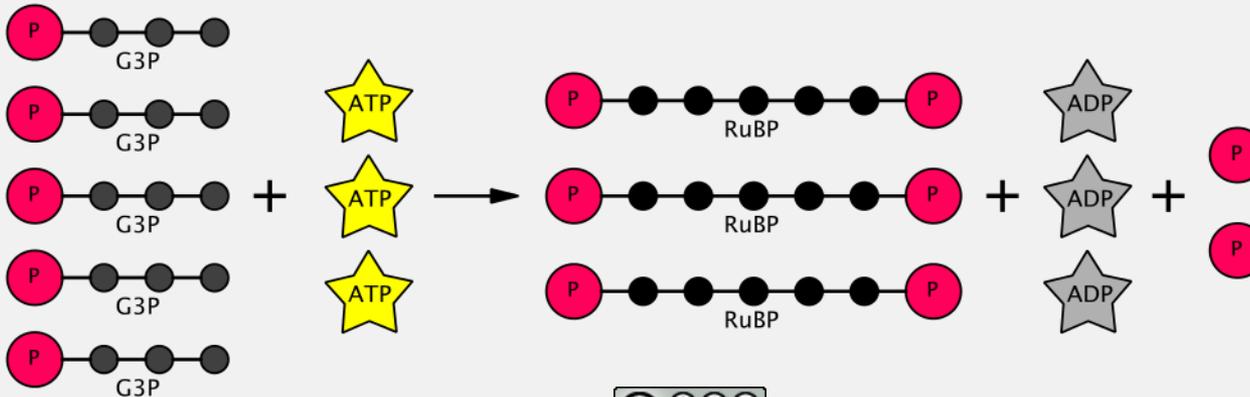
Fase 1. [CCO](#)

Fase 2: Reducción



Fase 2. [CCO](#)

Fase 3: Regeneración de la ribulosa



Fase 3. [CCO](#)



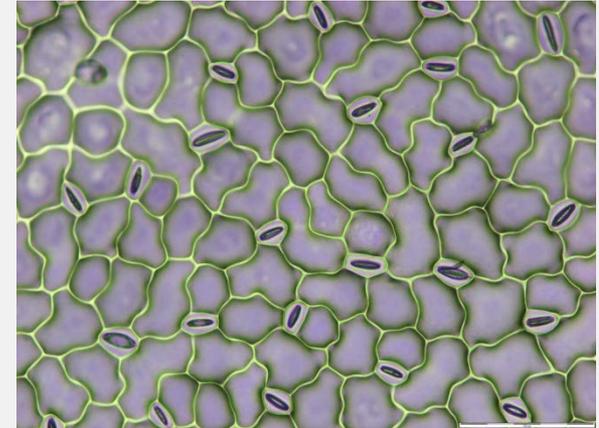
Fase bioquímica (oscura)



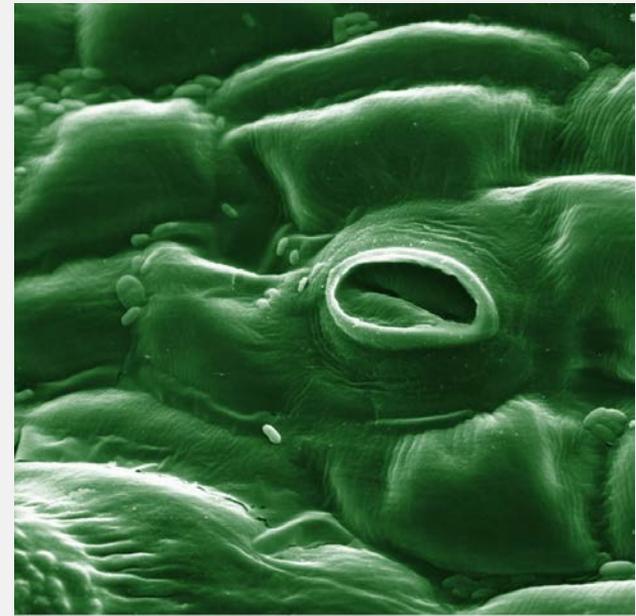
¿Origen del CO_2 ?

Proviene del aire y entra por los poros de las hojas denominados estomas.

- ¿Sabías que el CO_2 además de ser sustrato de la fotosíntesis también es el principal responsable del calentamiento de la atmósfera?
- Esto se debe a que su concentración en la atmósfera está aumentando debido a la quema de combustibles fósiles.



Estomas de la especie quinoa. Imagen cedida amablemente por: A. Agirresarobe Murgi



Estoma de una planta de tomate. [Dominio público](#)

- El análisis de CO_2 por **absorción en el infrarrojo (IRGA)** es el método más usado actualmente para determinar las medidas de intercambio gaseoso, tasa de fotosíntesis y parámetros relacionados.
- Los “IRGAs” son espectrofotómetros infrarrojos que, básicamente tienen los mismos componentes que los instrumentos usados para el estudio de absorción en las regiones ultravioleta y visible.



Consola de un medidor de CO_2 . Imagen propia: U. Pérez López

• El aire, que porta el CO_2 , se bombea desde una bala/cilindro/bombona de gas o se toma desde la atmósfera y se hace pasar por la cámara de fotosíntesis (PLC) o “pinza” donde se encuentra la hoja, dirigiéndose el aire de salida hacia el IRGA que registrará continuamente la concentración de CO_2 de este *aire de salida* (corriente de análisis) y lo comparará con la concentración de CO_2 de referencia antes de entrar a la cámara (corriente de referencia).

• La diferencia de concentración de CO_2 antes y después de salir de la cámara se deberá a la tasa de asimilación de CO_2 en la planta. Básicamente, a partir del flujo de aire a través de la hoja que se dispone en la cámara de medida y el cambio en las concentraciones de CO_2 y H_2O se determina la tasa de asimilación y la tasa de transpiración.



Cámara de fotosíntesis o pinza.

Imagen propia: U. Pérez López

Fotosíntesis

$$\frac{\text{Flujo} * \Delta\text{CO}_2}{\text{área}}$$

Transpiración

$$\frac{\text{Flujo} * \Delta\text{H}_2\text{O}}{\text{área}}$$

Lista de verificación: ¿he alcanzado los resultados de aprendizaje?

Mediante la planta del Bambú se ha abordado el tema del crecimiento de la planta, así como la fotosíntesis, bases necesarias para el crecimiento vegetal. Comprueba la siguiente lista de verificación. Si eres capaz de contestar a los enunciados, puedes **comenzar con los ejercicios**. Si no eres capaz, **debes volver a repasar el temario**, antes de realizar los ejercicios propuestos:



Imagen propia: U. Pérez López

- ✓ Conocer la diferencia entre crecimiento y diferenciación (sección 1a).
- ✓ Entender la planta como estructura axial, polar y radial (sección 1b).
- ✓ Comprender como ocurre el crecimiento indefinido de la planta (sección 1c).
- ✓ Clasificar las diferentes hormonas vegetales y conocer sus funciones (sección 1d).
- ✓ Saber cómo se calcula el crecimiento de una planta (sección 1e).
- ✓ Describir el proceso general de la fotosíntesis (sección 2a).
- ✓ Conocer donde ocurren las distintas fases de la fotosíntesis (sección 2b).
- ✓ Distinguir la fase fotoquímica y bioquímica de la fotosíntesis (sección 2c-d).
- ✓ Saber cómo se calcula la tasa fotosintética de una planta (sección 2e).