

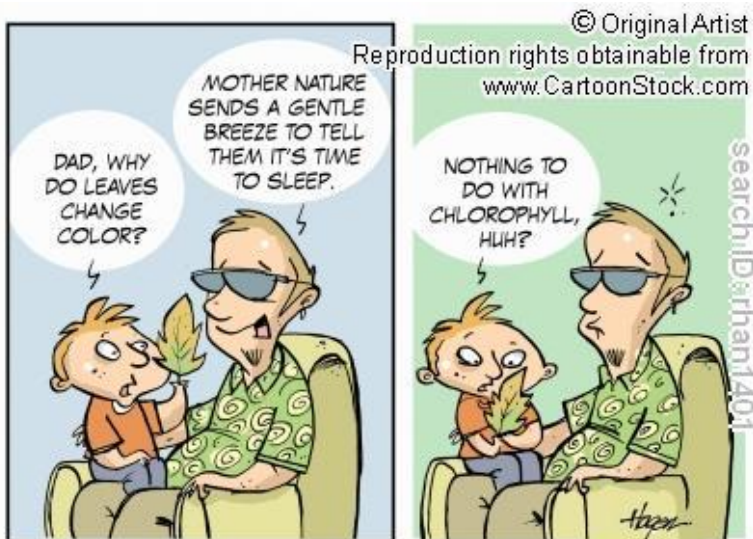


Tema 1. Biología Molecular

1.9 Fotosíntesis



Germán Tenorio
Biología NM-Diploma BI



Idea Fundamental: La fotosíntesis emplea la energía de la luz solar para transformarla en la energía química necesaria para la vida.

San Francisco de Paula
Bachillería



Anabolismo

- A partir de los **precursores metabólicos** obtenidos en las reacciones catabólicas, la célula puede realizar la biosíntesis (anabolismo) de estructuras y moléculas propias más complejas, con consumo de **energía (ATP)** también aportado por el catabolismo.
- Como la biosíntesis o anabolismo son reacciones de reducción, se necesita **poder reductor**, también obtenido del catabolismo en forma de **NADH** o de **NADPH**.
- Las reacciones de biosíntesis también están **catalizadas enzimáticamente** y requieren un aporte energético proporcionado por la hidrólisis del ATP.

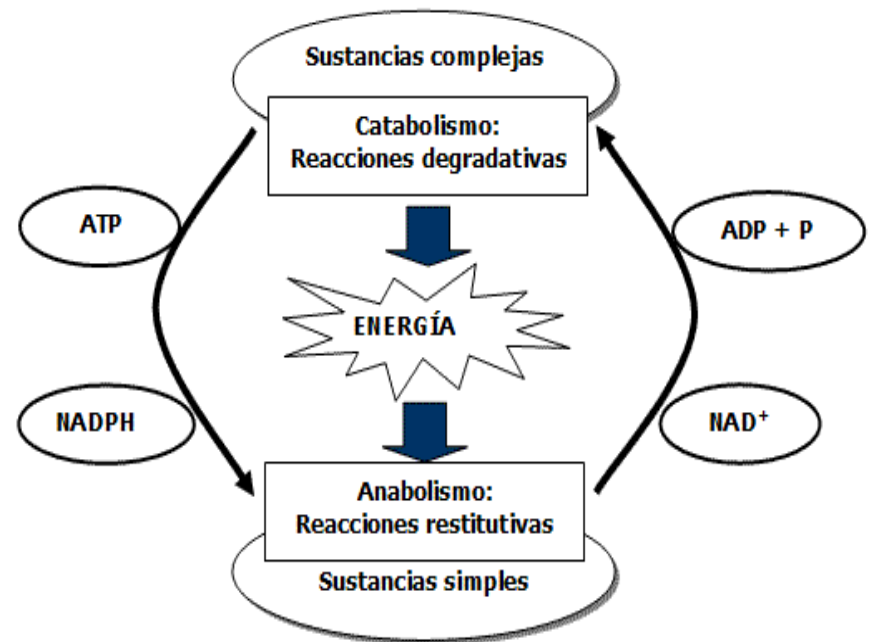
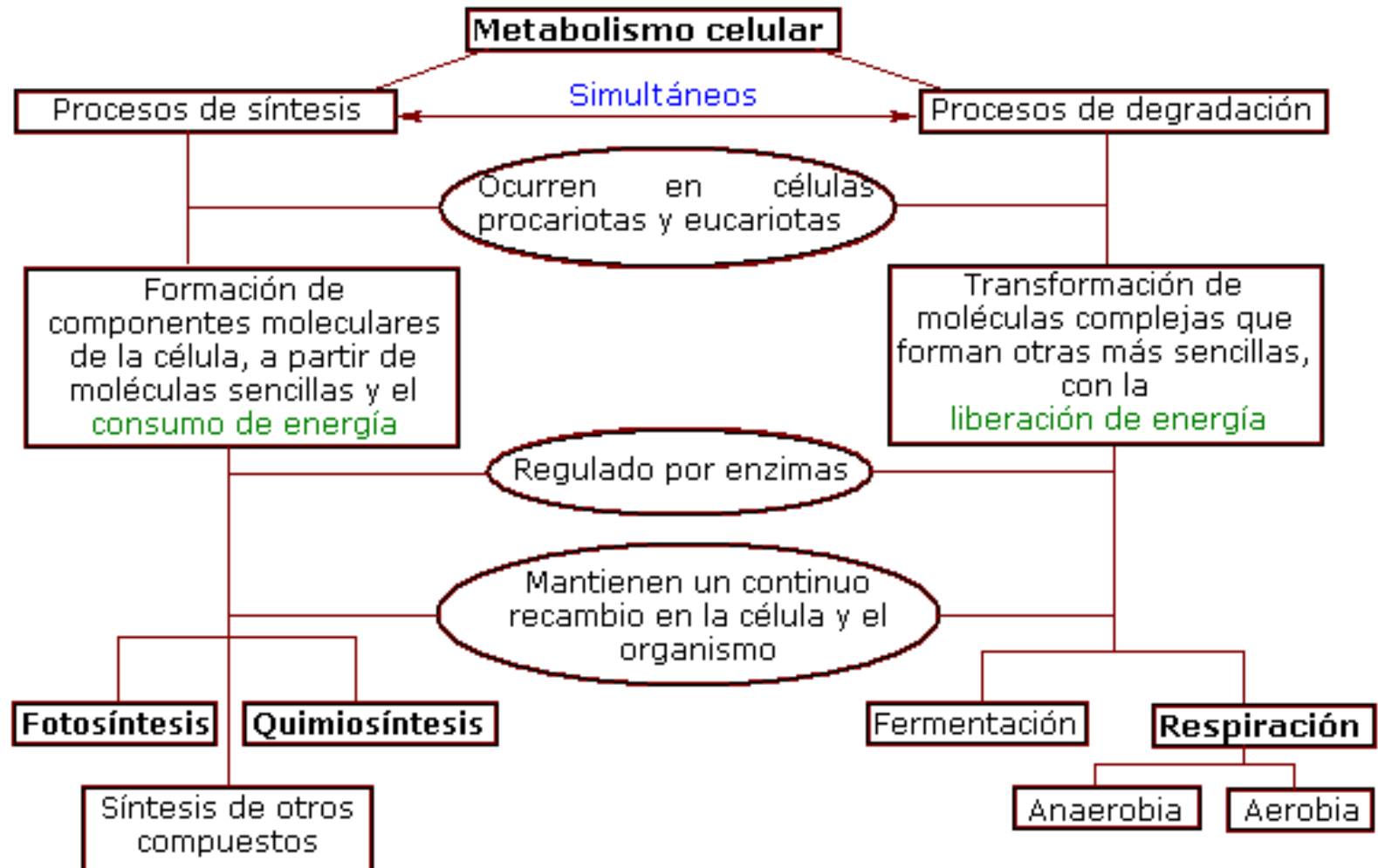


Figura 2.2. Interdependencia anabolismo-catabolismo.



Metabolismo



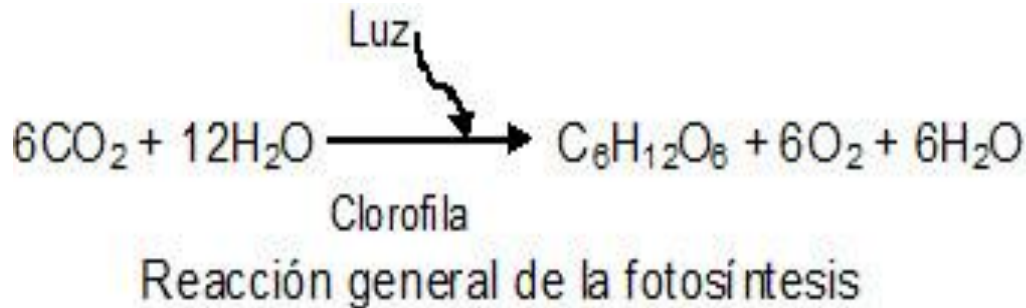
Paula

XXXXXXXXXX



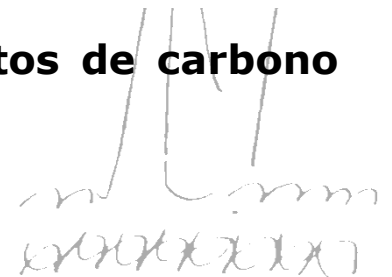
Fotosíntesis

- **Concepto:** Proceso anabólico autótrofo por el que las células vegetales, las algas y algunas bacterias utilizan sustancias inorgánicas y energía luminosa, que absorben por los pigmentos, para transformarlas en sustancias orgánicas.
- Las **células vegetales, las algas y algunas bacterias**, realizan la **fotosíntesis oxigénica**, utilizando como nutrientes CO_2 y H_2O , por lo que la materia orgánica resultante serán moléculas hidrocarbonadas (glúcidos y lípidos sencillos).
- Su ecuación general es:



El oxígeno liberado en la fotosíntesis procede del agua, no del CO_2 .

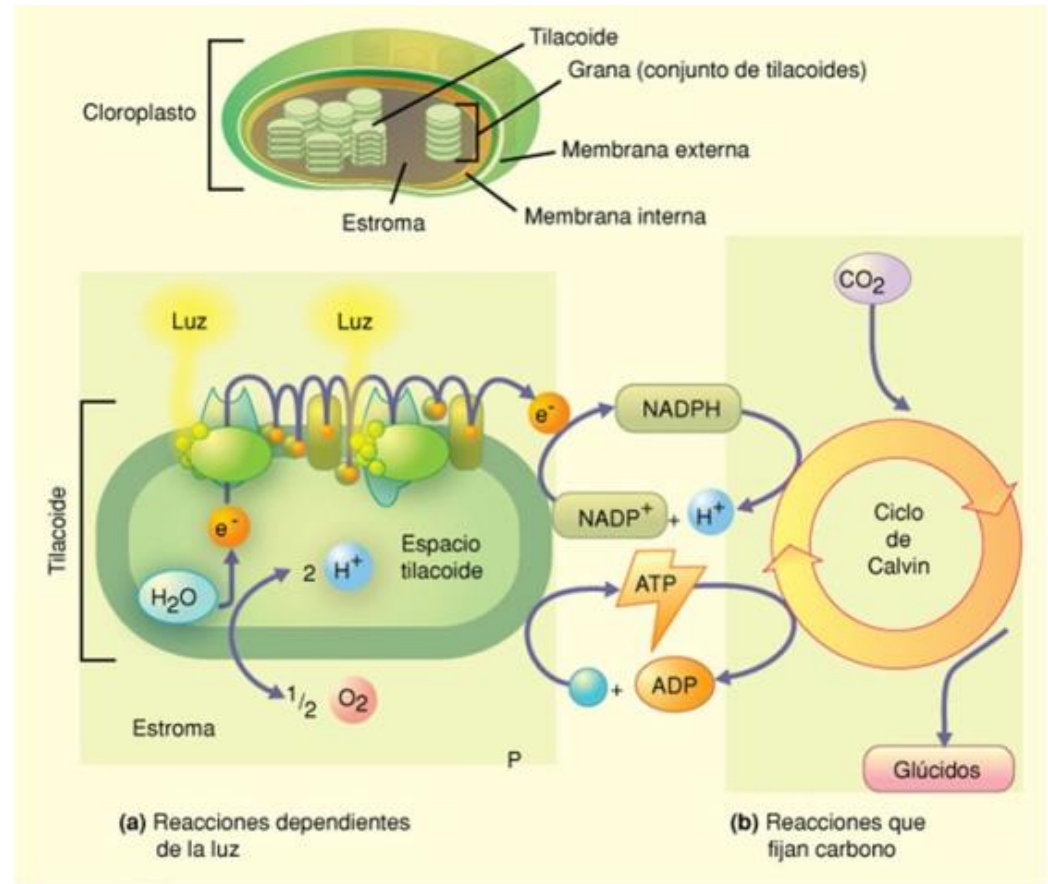
- **La fotosíntesis consiste en la producción de compuestos de carbono en las células usando la energía lumínica.**





Etapas de la fotosíntesis

- La fotosíntesis transcurre en dos fases o etapas: La **fase dependiente de luz** y la **fase independiente de luz**.
- En la **fase dependiente de luz** se genera la energía que se requiere para producir glúcidos y otros compuestos de carbono a partir del dióxido de carbono en la **fase independiente de luz**.
- Los **cloroplastos** son los orgánulos de las células vegetales donde tiene lugar la fotosíntesis.

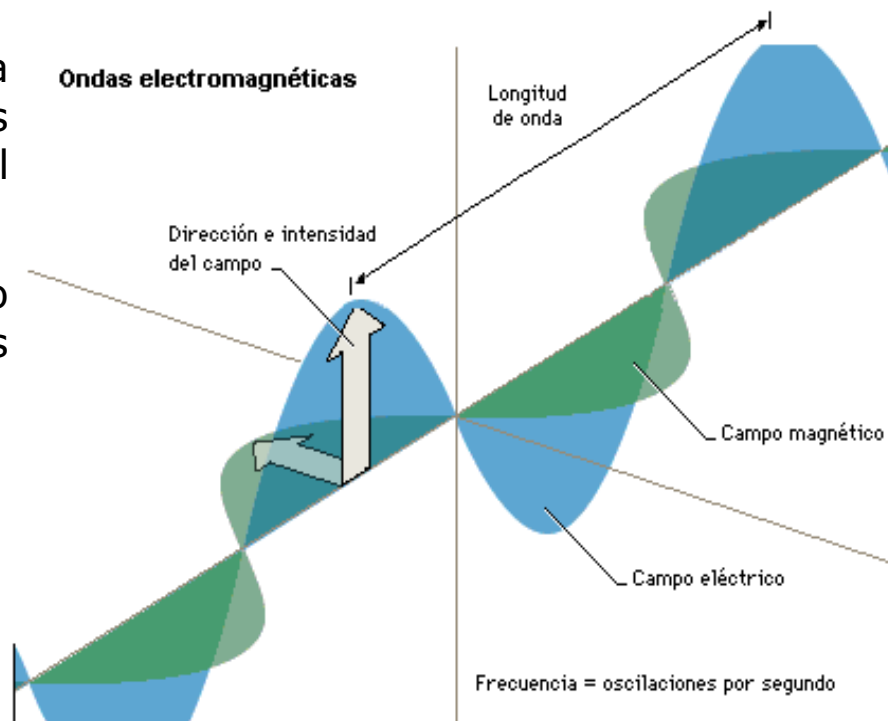
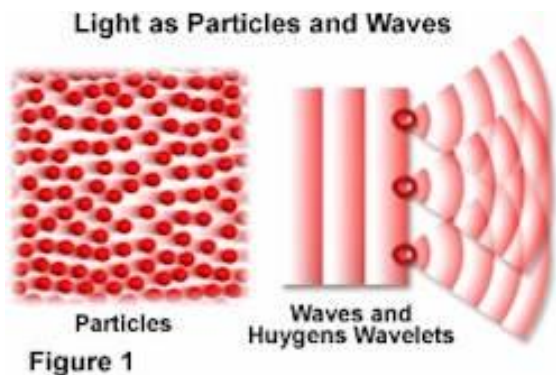


XXXXXXXXXX



Espectro electromagnético

- La luz es una forma de **energía electromagnética**, también denominada radiación electromagnética.
- Al igual que otros tipos de energía electromagnética, la luz viaja mediante ondas rítmicas.
- La **longitud de onda (λ)** es la distancia entre las crestas de dos ondas consecutivas, y determina el tipo de energía electromagnética.
- La luz también se comporta como si consistiera de partículas discretas, denominadas **fotones**.

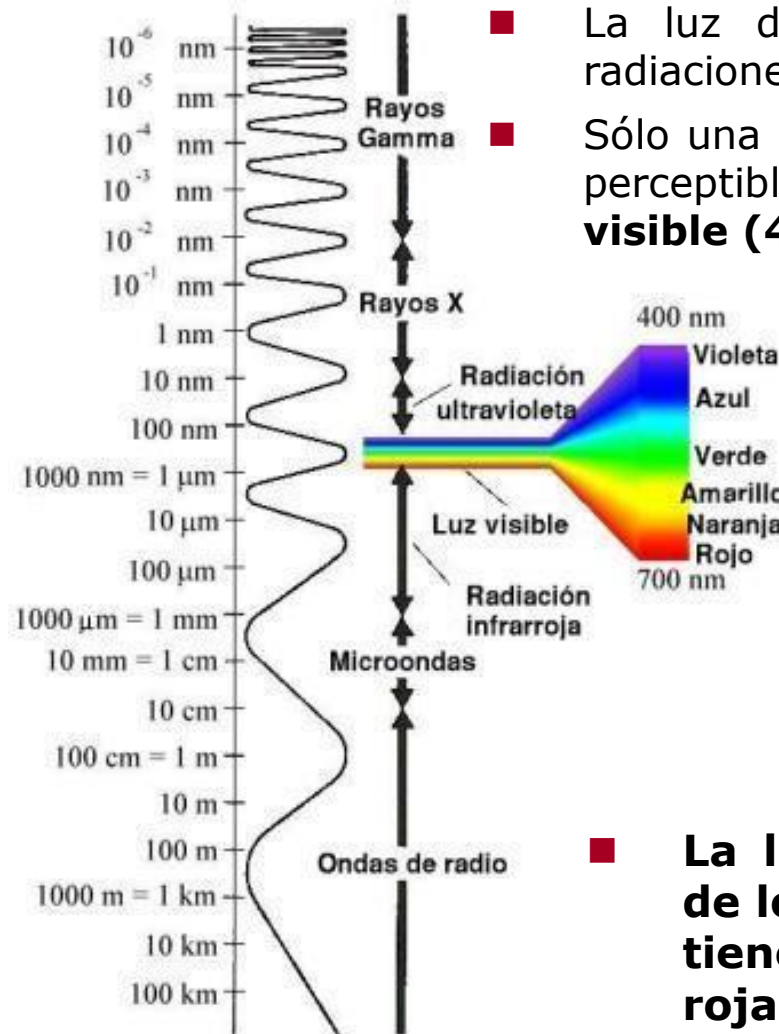


Handwritten signature and scribbles.

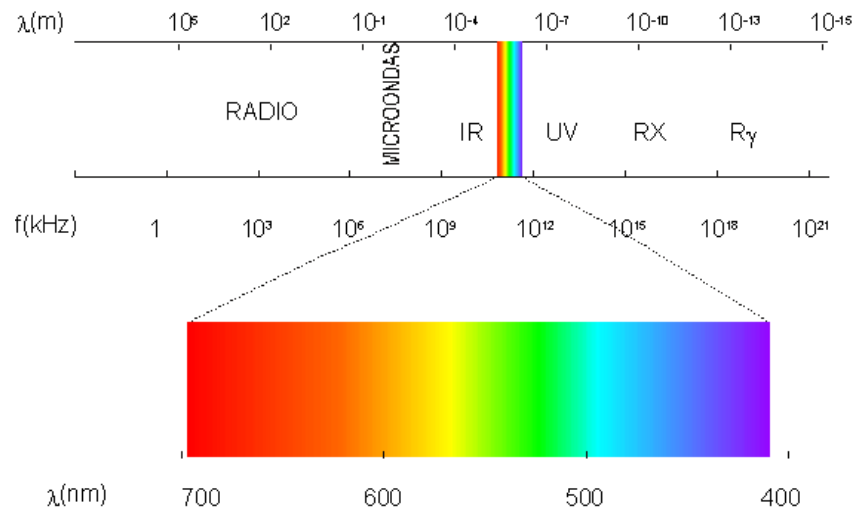


Espectro de luz visible

Longitud de onda



- La luz del sol está compuesta por un conjunto de radiaciones con distintas longitudes de onda.
- Sólo una pequeña parte del espectro electromagnético es perceptible por el ojo humano, conocida como **espectro visible (400-700 nm)**, donde se encuentran los colores.

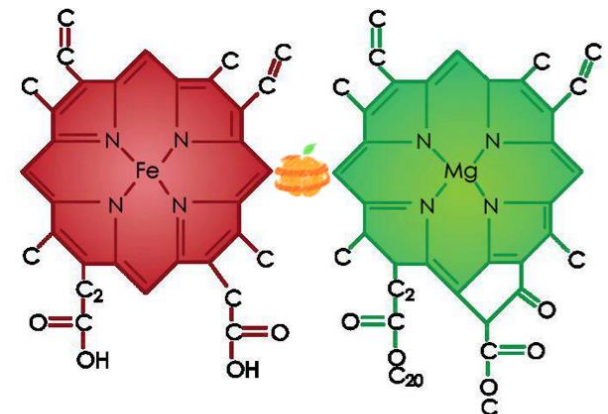
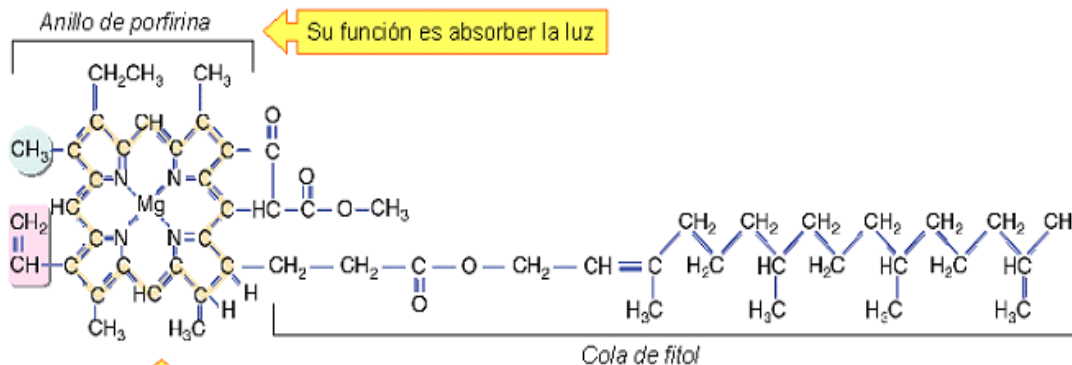


- La luz visible presenta un espectro variable de longitudes de onda: la luz violeta es la que tiene la longitud de onda mas corta, y la luz roja la longitud de onda más larga.



Pigmentos fotosintéticos

- Los **pigmentos** son sustancias que absorben la luz visible. Existen diferentes pigmentos que absorben diferentes longitudes de onda.
- Las longitudes de onda que no son absorbidas son reflejadas o transmitidas. Las hojas son verdes porque la clorofila refleja y transmite la luz verde.
- La **clorofila** es el más importante de los pigmentos fotosintéticos. Es una molécula formada por un anillo porfirínico, semejante al grupo hemo de la hemoglobina, pero con un ión Mg^{2+} en lugar de Fe^{3+} , unido a un terpeno (**fitol**).



HEMOGLOBINA

CLOROFILA

Los dobles enlaces alternativos permiten la descolocación de los electrones favoreciendo la pérdida de uno hacia un aceptor.

Mantiene la clorofila integrada en la membrana fotosintética

- La clorofila absorbe luz roja y azul con mayor eficacia y refleja la luz verde con mayor intensidad que los demás colores del espectro.



Espectro de luz visible

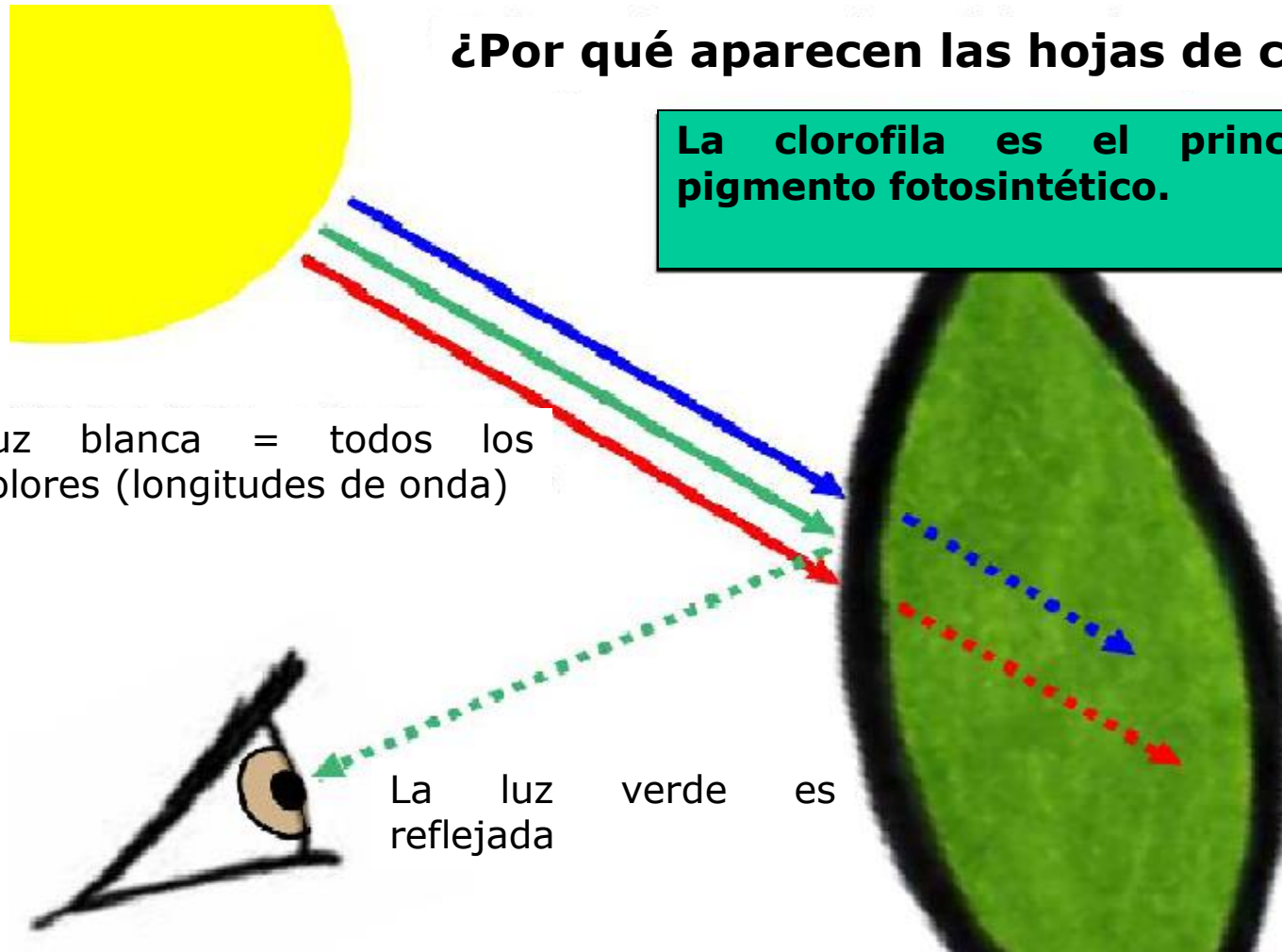
¿Por qué aparecen las hojas de color verde?

La clorofila es el principal pigmento fotosintético.

Luz blanca = todos los colores (longitudes de onda)

Luz de longitud de onda roja y azul es absorbida

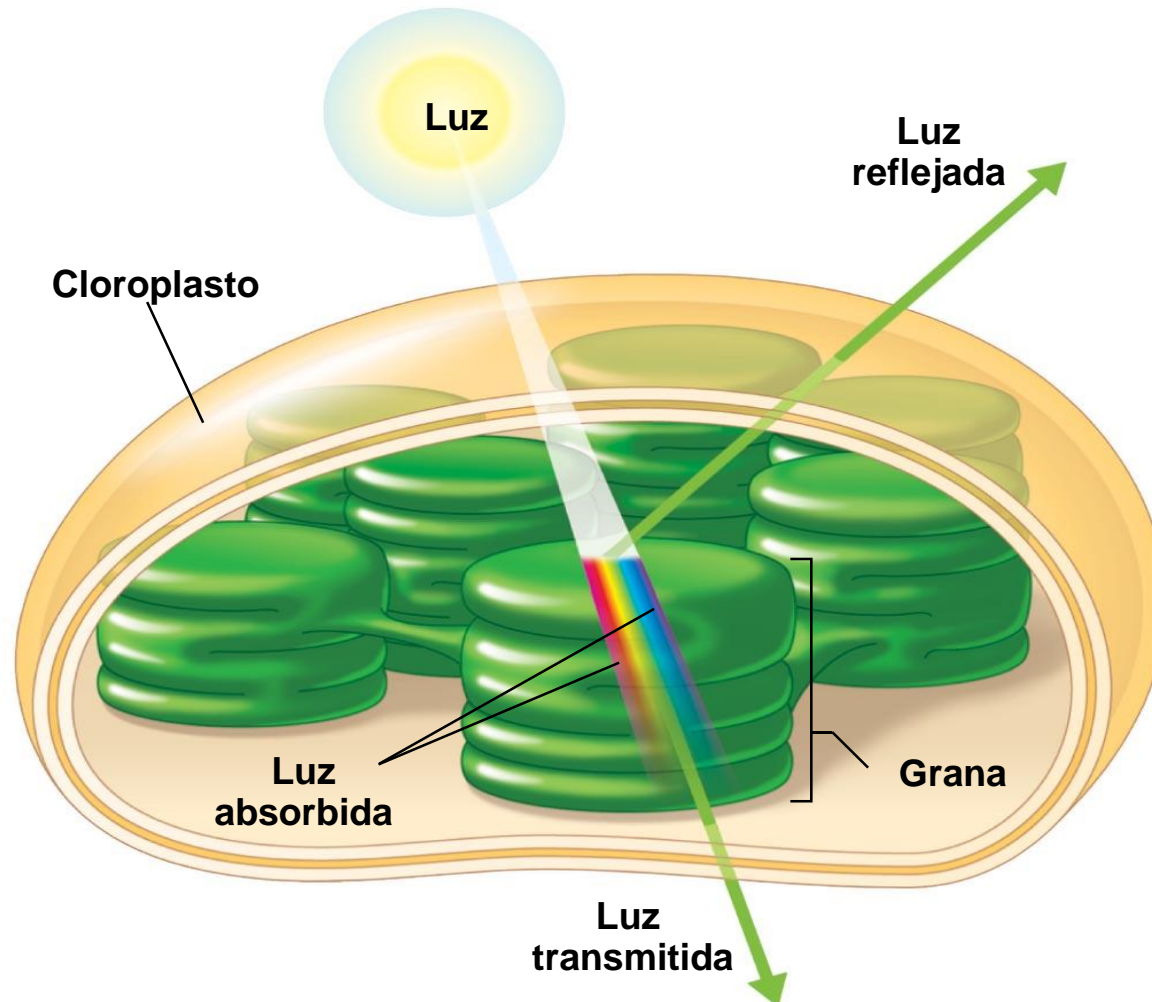
La luz verde es reflejada



XXXXXX



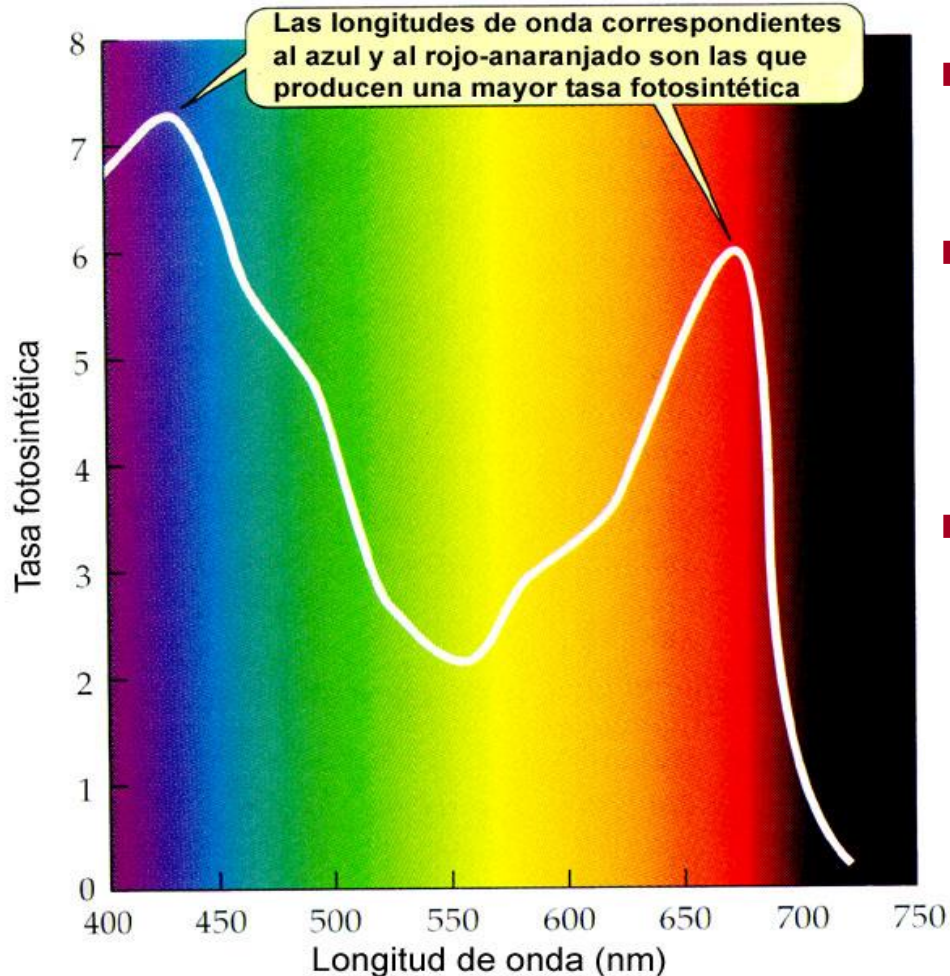
Espectro de luz visible



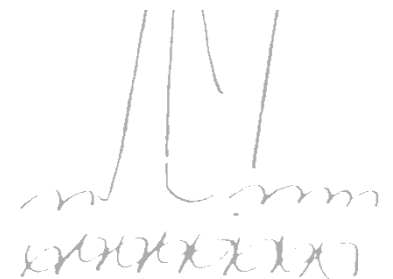


Espectro de acción

Violeta-azul verde-amarillo naranja-rojo



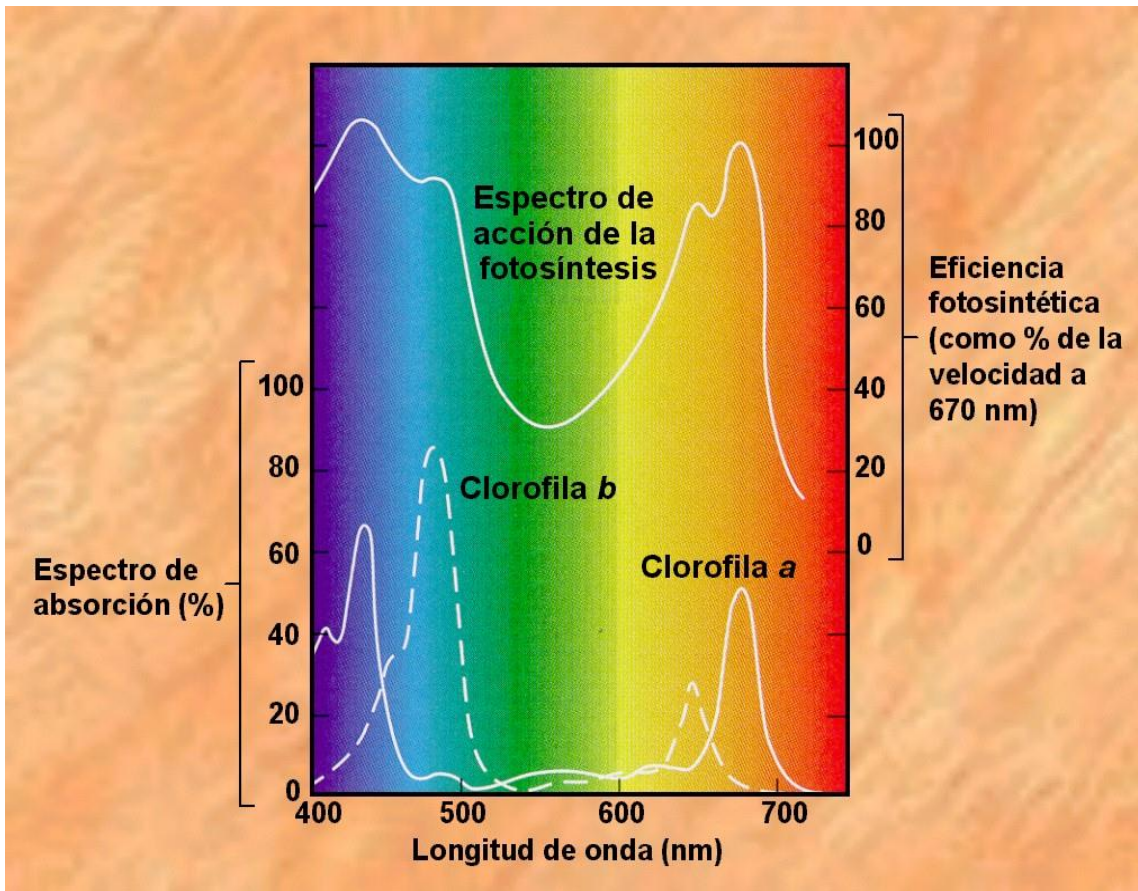
- ¿Pueden las plantas usar toda la radiación procedente del Sol para hacer la fotosíntesis?
- El **espectro de acción** muestra el rango de longitudes de onda del espectro visible que pueden usarse en las reacciones dependientes de luz.
- Las **longitudes de onda** correspondientes con **el azul y el rojo-anaranjado** producen la **mayor tasa fotosintética**.





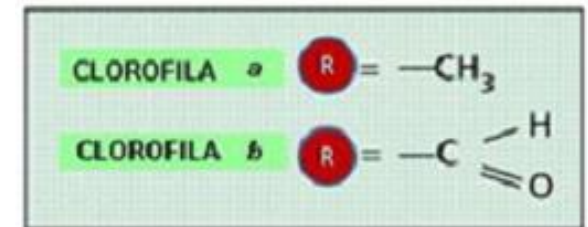
Espectro de absorción

- El **espectro de absorción** muestra el rango de longitudes de onda del espectro visible que son **absorbidos por la clorofila**, el principal pigmento fotosintético.



Web1

- El espectro de acción de la fotosíntesis y el de absorción de la clorofila **solapan**, mostrando que la clorofila es el pigmento fotosintético más importante.
- La clorofila **a** y **b** son químicamente semejantes.

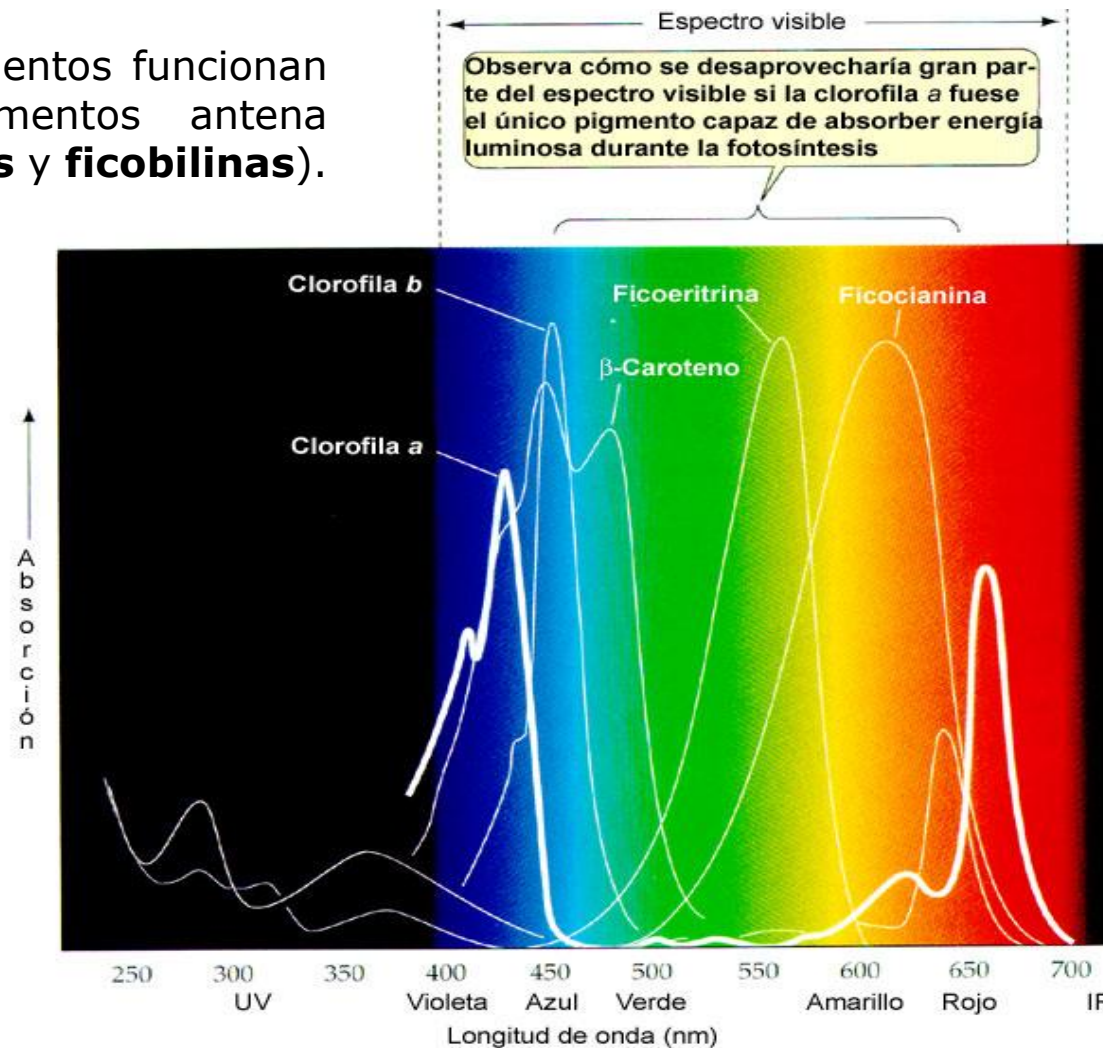


Video2



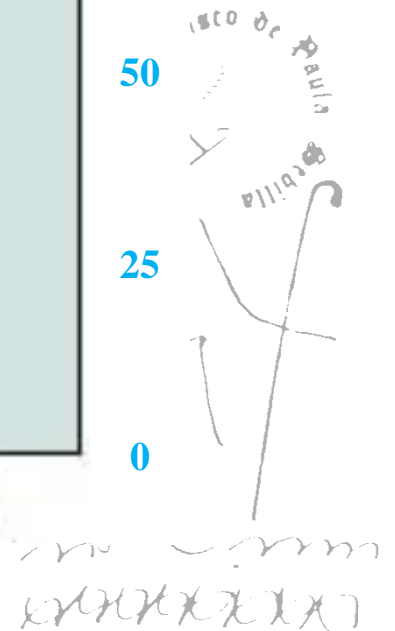
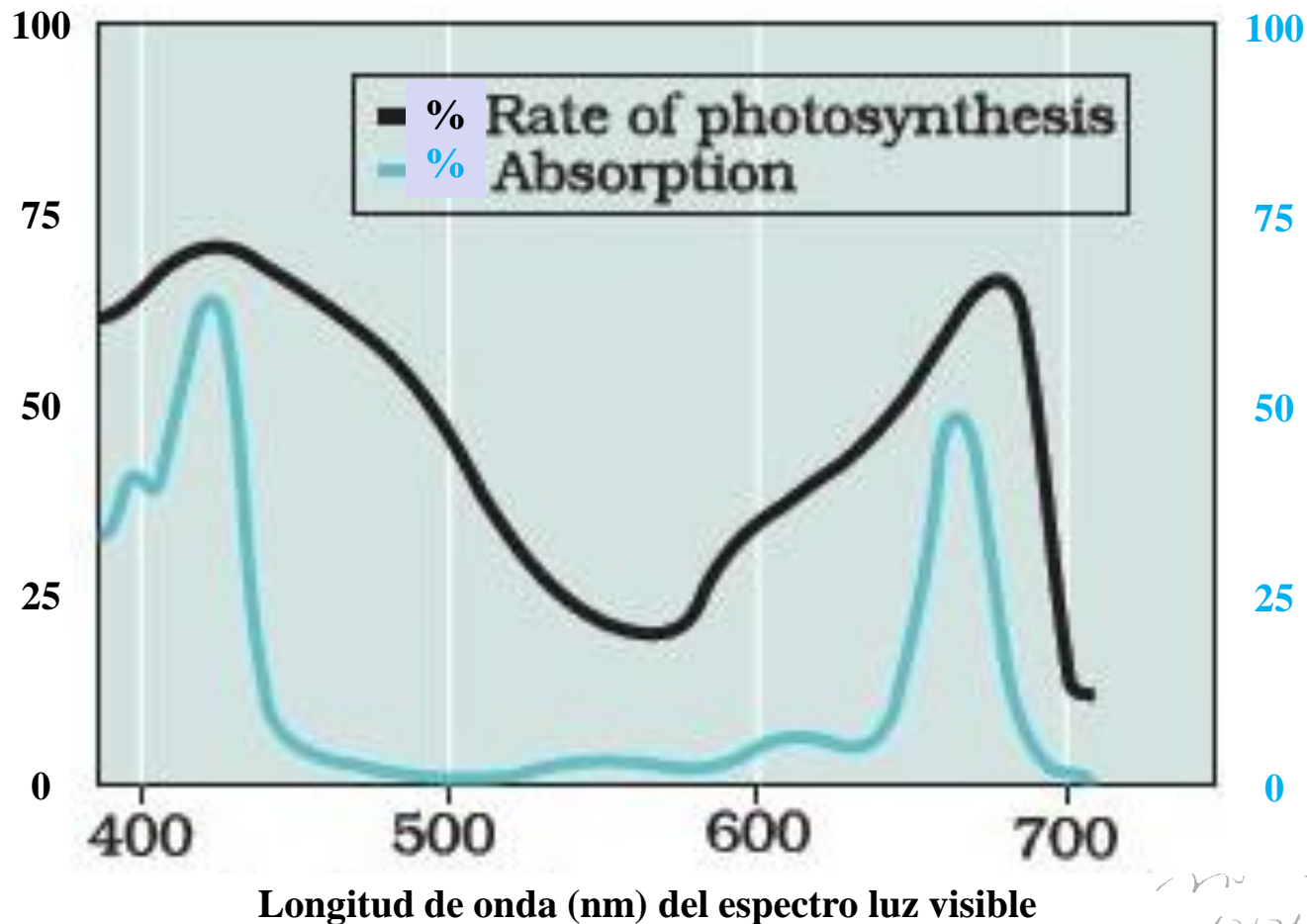
Espectro de absorción

- Otros pigmentos funcionan como pigmentos antena (**carotenos y ficobilinas**).





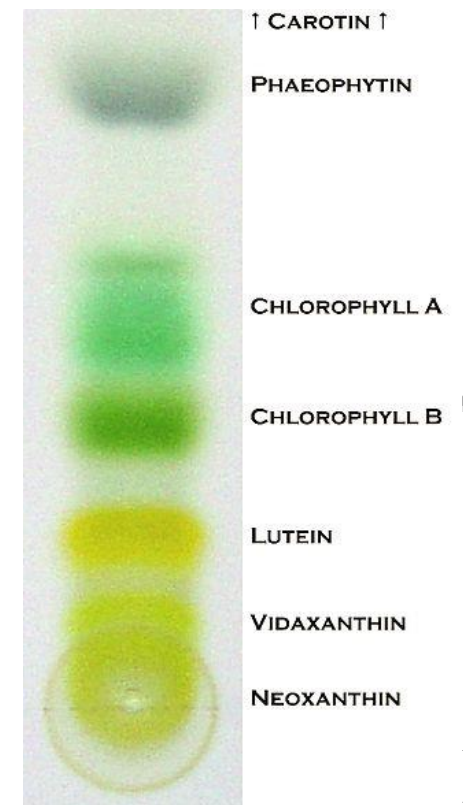
HABILIDAD: Dibujo espectro absorción de la clorofila y de acción de la fotosíntesis





HABILIDAD: Separación de pigmentos fotosintéticos mediante el cromatógrafo

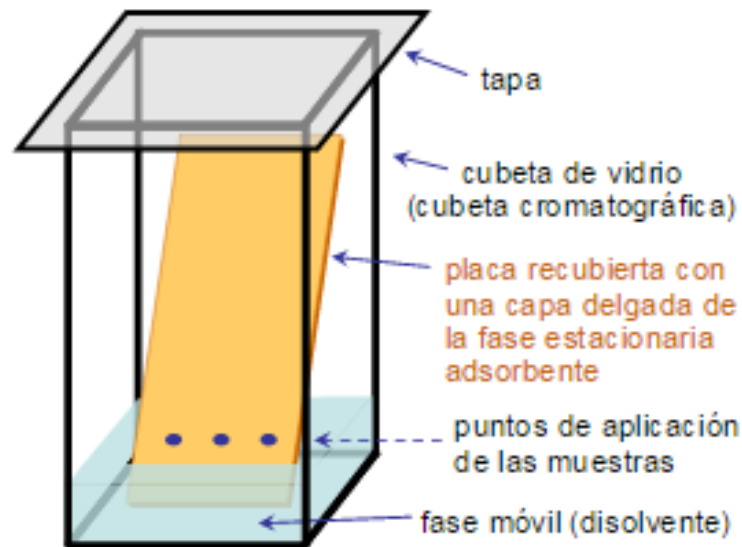
- La **cromatografía** comprende un conjunto de técnicas que tienen como finalidad la separación de mezclas basándose en la diferente capacidad de interacción de cada componente en otra sustancia.
- De forma general, consiste en pasar una **fase móvil** (una muestra constituida por una mezcla que contiene el compuesto deseado en el disolvente) a través de una **fase estacionaria** fija sólida. La fase estacionaria retrasa el paso de los componentes de la muestra, de forma que los componentes la atraviesan a diferentes velocidades y se separan en el tiempo.
- Existen diferentes tipos de técnicas cromatográficas en función de la fase estacionaria. Una de ellas la **cromatografía en papel**, donde las interacciones del soluto con el papel hacen que los compuestos se desplacen a velocidades diferentes.





HABILIDAD: Separación de pigmentos fotosintéticos mediante el cromatógrafo

- Actualmente, la cromatografía en papel se utiliza poco y ha sido ampliamente reemplazada por la **cromatografía en capa fina (TLC)**.
- La muestra a analizar se deposita cerca de un extremo de una lámina de plástico o aluminio que previamente ha sido recubierta de una fina capa de adsorbente (fase estacionaria).
- La lámina se coloca en una cubeta cerrada que contiene uno o varios disolventes mezclados (eluyente o fase móvil). A medida que la mezcla de disolventes asciende por capilaridad a través del adsorbente, se produce un reparto diferencial de los productos presentes en la muestra entre el disolvente y el adsorbente.
- Los dos adsorbentes (fase estacionaria) más ampliamente utilizados son la gel de sílice (SiO_2) y la alúmina (Al_2O_3), ambas de carácter polar.

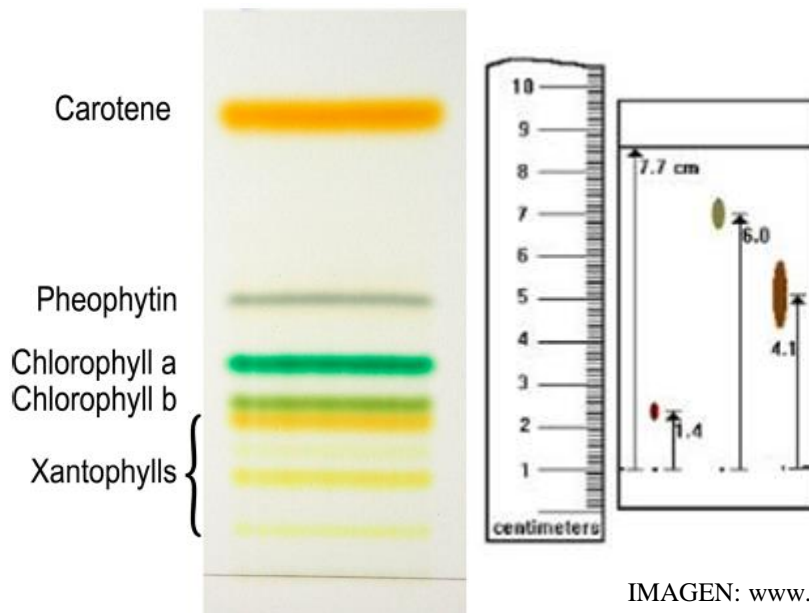




HABILIDAD: Separación de pigmentos fotosintéticos mediante el cromatógrafo

- La relación entre las distancias recorridas por el soluto y por el eluyente desde el origen de la placa se conoce como **Rf**, y tiene un valor constante para cada compuesto en unas condiciones cromatográficas determinadas.
- Para calcular el Rf se aplica la siguiente expresión: $R_f = \text{distancia recorrida por el compuesto (X)} / \text{distancia recorrida por el eluyente (Y)}$.
- La distancia recorrida por el compuesto se mide desde el centro de la mancha.

Si ésta es excesivamente grande se obtendrá un valor erróneo del Rf.



$$\text{Spot 1: } R_f = \frac{1.4 \text{ cm}}{7.7 \text{ cm}} = 0.18$$

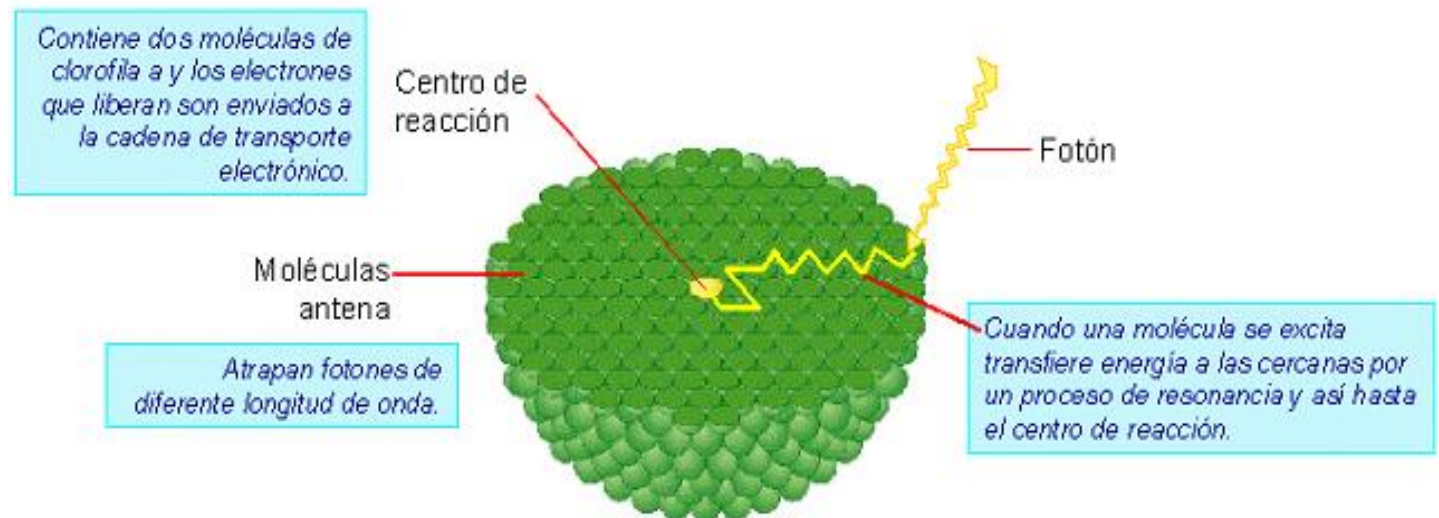
$$\text{Spot 2: } R_f = \frac{6.0 \text{ cm}}{7.7 \text{ cm}} = 0.78$$

$$\text{Spot 3: } R_f = \frac{4.1 \text{ cm}}{7.7 \text{ cm}} = 0.53$$



Reacciones dependientes de luz: Fotosistemas

- Los **fotosistemas** son las unidades de las membranas tilacoidales en las que se produce la captación de la energía solar y su utilización para liberar electrones.
- Cada fotosistema está formado por un **complejo antena** y por un **centro de reacción**.



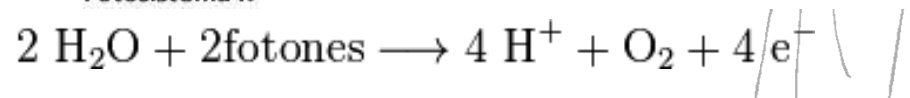
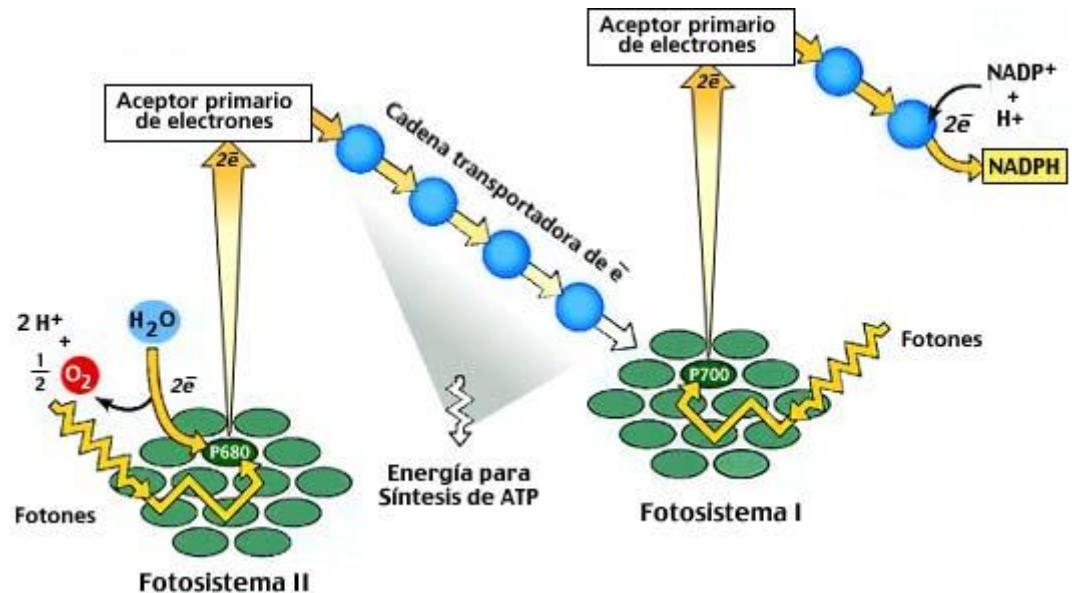
- El **complejo antena** es un centro colector de luz especialmente diseñado para captar energía luminosa y que está formado por cientos de moléculas de clorofila y otros pigmentos accesorios.

Handwritten signature and scribbles.



Fotolisis del agua

- El centro de reacción está formado de dos clorofilas especiales que ceden sus electrones (se oxidan) cuando son excitadas por los pigmentos antena. Cuando el centro de reacción del PS queda oxidado, provoca que las moléculas de agua cercanas se rompan y le cedan sus electrones.
- La rotura o **fotolisis del agua genera electrones disponibles para su uso en las reacciones dependientes de la luz.**
- La energía de la luz rompe la molécula de agua, pasando los electrones al PS y generando protones (H^+) y oxígeno (O_2).
- **El oxígeno se produce en la fotosíntesis a partir de la fotolisis del agua**, y es liberado al exterior al ser un producto de desecho.



XXXXXXXXXX

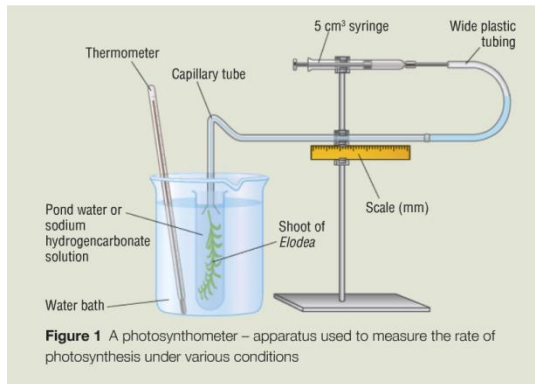


¿Cómo medir la tasa de fotosíntesis?

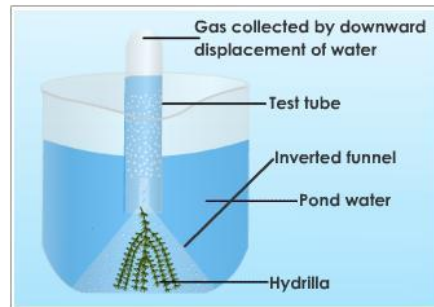
- La tasa de fotosíntesis puede ser determinada directamente a partir de:

1) La producción de oxígeno (dado que es un producto de la reacción) a lo largo de un periodo fijo de tiempo.

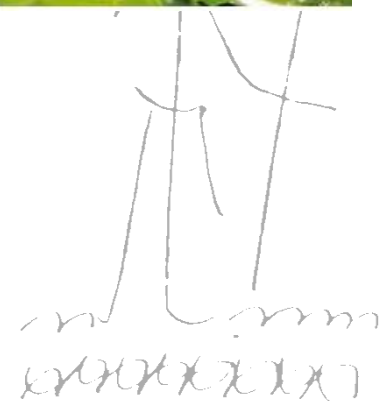
- Contando burbujas de oxígeno



- Midiendo su volumen



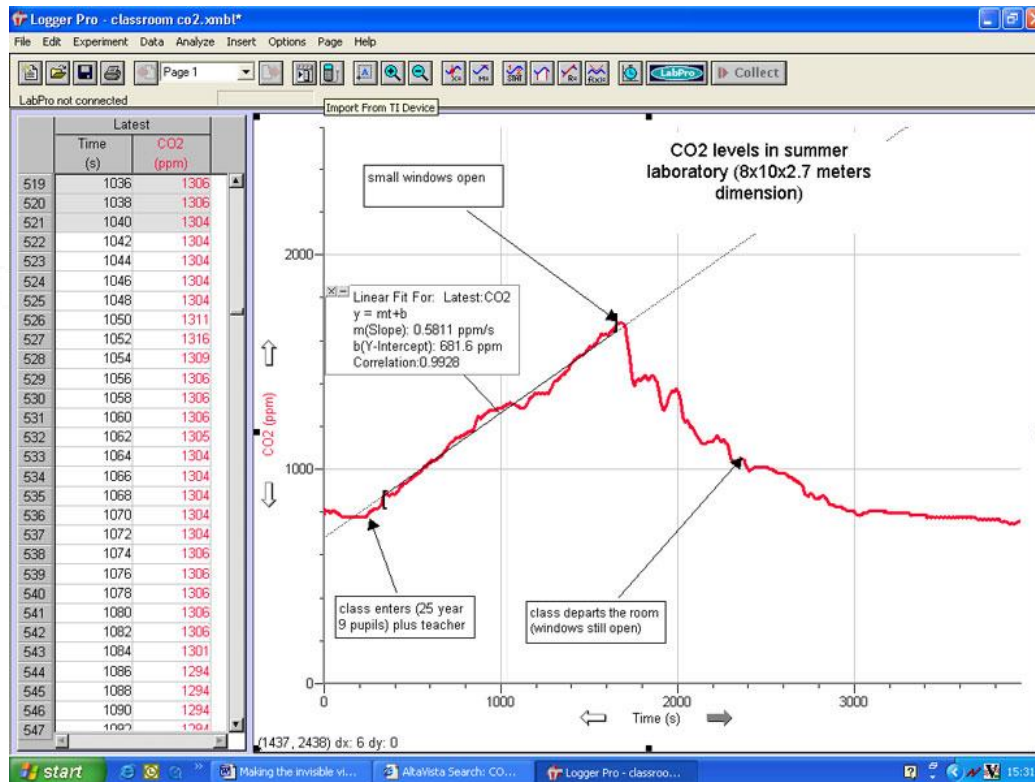
- Usando un sensor de O₂ (data-logger)





¿Cómo medir la tasa de fotosíntesis?

2) La fijación de dióxido de carbono (dado que es un sustrato de la reacción) a lo largo de un periodo fijo de tiempo usando un sensor CO₂ (data-logger).



in Linn
XXXXXX



¿Cómo medir la tasa de fotosíntesis?

- La tasa de fotosíntesis puede ser determinada indirectamente por el **incremento de biomasa/altura de la planta/tamaño de la hoja** a lo largo de un periodo fijo de tiempo, dado que los productos de la fotosíntesis se usan para sintetizar nuevos tejidos.

Experiencia de Van Helmont



Las hojas que cayeron durante los 4 otoños se retiraron y no se pesaron.

Experiencia del sauce (J.B. van Helmont). Concluyó que el incremento en el peso (73.85 kg) eran debidos exclusivamente al agua.



Factores que limitan la tasa de fotosíntesis

- Varios son los factores que pueden afectar a la tasa de fotosíntesis, y cuyos niveles deben encontrarse dentro de un determinado valor para que la fotosíntesis sea óptima.

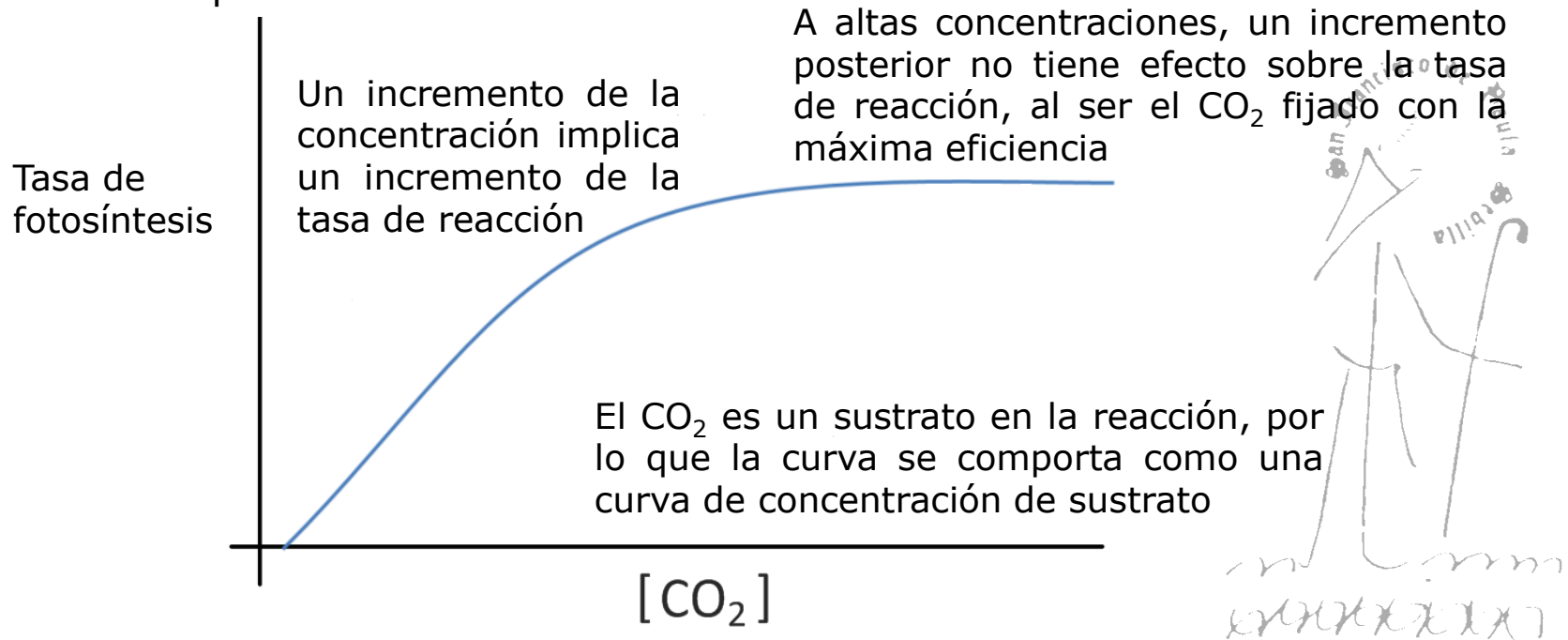


- El término **factor limitante** se usa para describir el factor que controla una reacción particular a su máximo rendimiento. **La temperatura, la intensidad lumínica y la concentración del dióxido de carbono son posibles factores limitantes de la tasa de fotosíntesis.**



Factores que limitan la tasa de fotosíntesis

- **Concentración de CO_2 :** La fotosíntesis es una ruta metabólica donde una enzima cataliza la carboxilación de la RuBP. Si hay bajos niveles de CO_2 , se produce menos gliceraldehído-3P.
- La concentración de CO_2 afecta a la fase oscura (independiente de luz). El CO_2 es uno sustrato en la reacción, por lo que actúa limitando la reacción al igual que cualquier otro sustrato en una reacción enzimática: A mayor CO_2 mayor actividad fotosintética, hasta que se satura porque todos los sitios activos están ocupados.

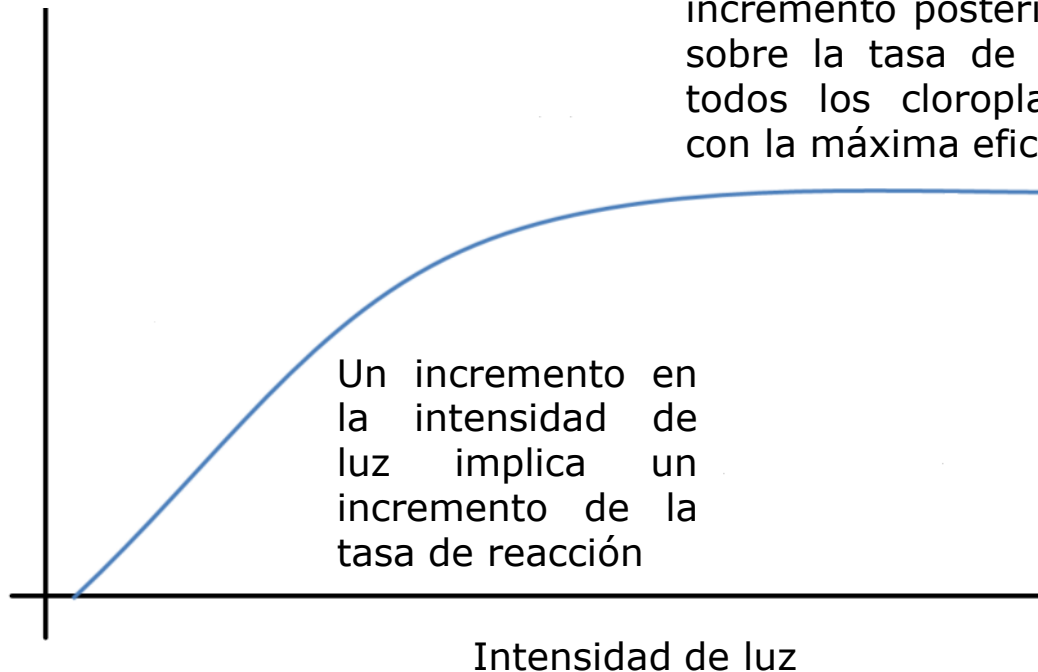




Factores que limitan la tasa de fotosíntesis

- **Intensidad de luz:** La luz es necesaria para la fotoactivación de los e- y la fotólisis del agua. Por tanto, la intensidad de luz afecta a la fase luminosa (dependiente de luz).
- Bajas intensidades de luz resultan en una baja producción de NADPH + H⁺ y de ATP, lo que provoca que se pare el ciclo de Calvin.

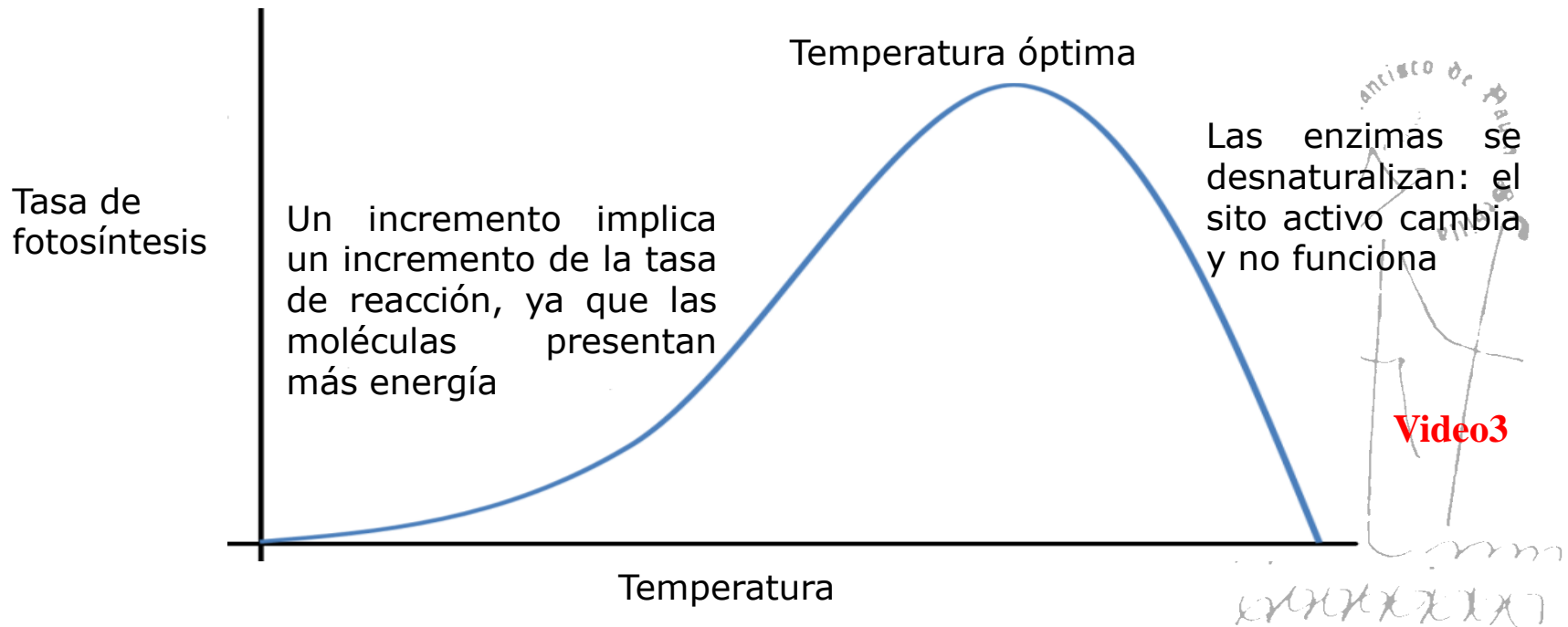
Tasa de
fotosíntesis





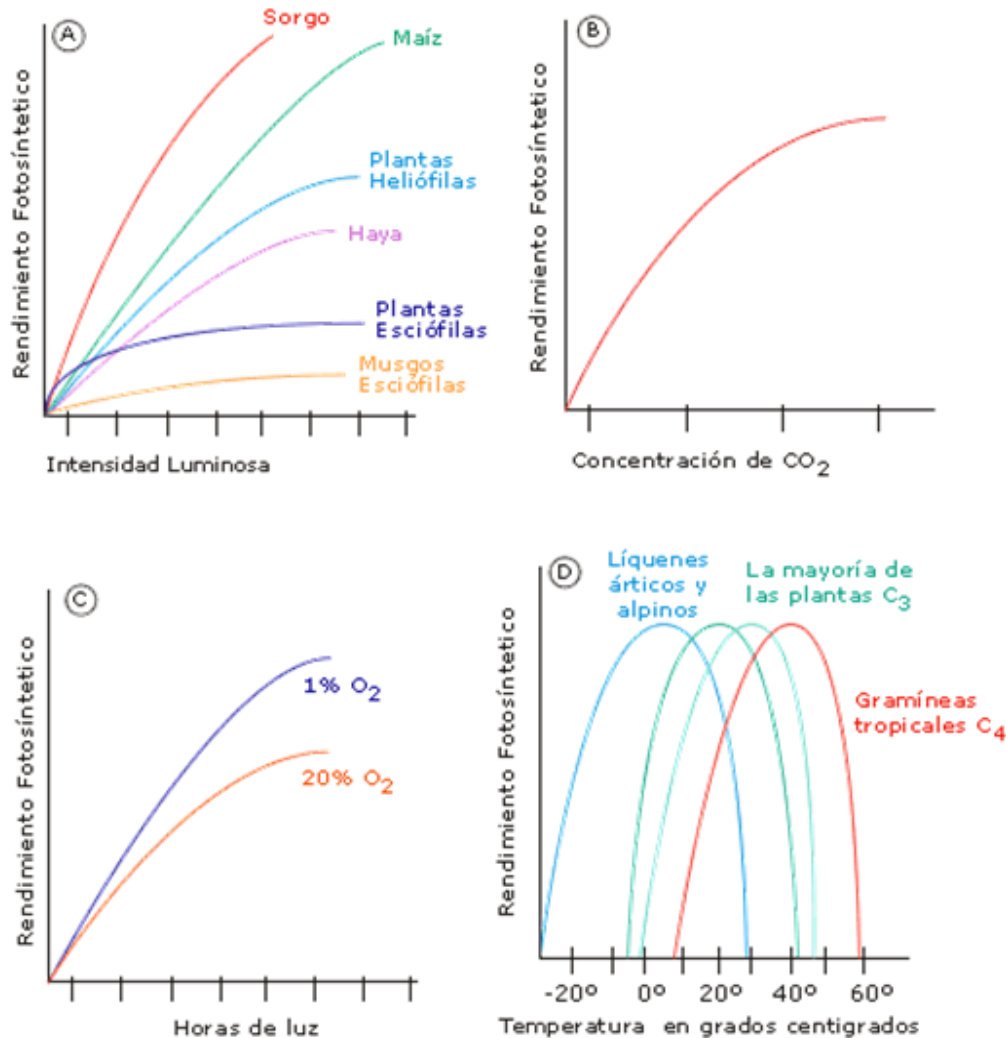
Factores que limitan la tasa de fotosíntesis

- **Temperatura:** La fotosíntesis es una ruta metabólica catalizada por una enzima. La temperatura afecta a la afecta las reacciones independientes de luz, ya que la temperatura afecta a la actividad enzimática.
- Bajas temperaturas ralentizan las reacciones debido a una menor energía, mientras que a medida que aumenta la temperatura, incrementa la tasa de fotosíntesis, hasta que se alcanza la temperatura óptima, punto a partir del cual las enzimas pueden desnaturalizarse.

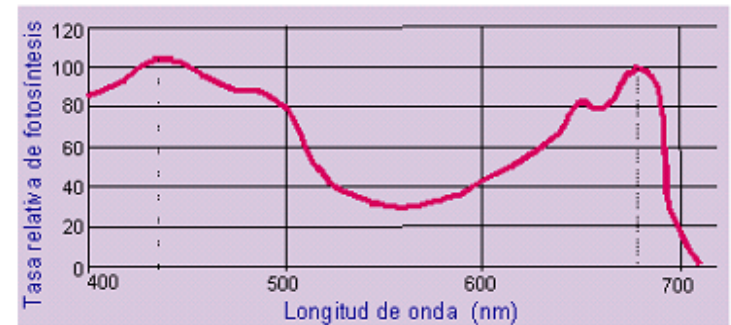




Factores que limitan la tasa de fotosíntesis



Óptimo de tasa fotosintética
en el rango del rojo y azul





NATURALEZA CIENCIAS: Control de variables

- En cualquier experimento es importante controlar todas las variables implicadas, no solo la independiente y la dependiente.
- Existe una necesidad de realizar experimentos controlados con sumo cuidado. Si queremos investigar el efecto de un factor, hay que controlar el resto de factores que pudieran influir.
- En el ámbito de la fotosíntesis la situación es relativamente simple y podemos garantizar que los factores diferentes del factor objeto de nuestra investigación se mantienen a un nivel constante y óptimo.
- En otros ámbitos los problemas que se plantean son mucho mayores. En la mayoría de las investigaciones en el campo de la salud humana casi siempre intervienen complejos factores que complican la investigación.



En el caso de la fotosíntesis, el factor limitante será la variable independiente de estudio, mientras que la tasa fotosintética será la variable dependiente. El resto de factores deben estar controlados en unos niveles óptimos.



HABILIDAD: Diseño de experimentos para investigar los factores limitantes sobre fotosíntesis

- Algunas recomendaciones que se deben tener en cuenta al diseñar este tipo de experimentos científicos:
- Respecto al factor que se va a investigar, la **variable independiente**, se necesita decidir:
 - Cómo conseguir que varíe; por ejemplo, si fuera la temperatura, habría que colocar la planta en una cámara de cultivo a diferentes temperaturas.
 - Más fácil sería usando algas, pero ¿cómo investigar la concentración de CO_2 ?
 - En qué unidades se ha de medir, por ejemplo, la temperatura en grados Celsius.
 - Cuál sería el rango escogido, incluyendo el valor máximo y el mínimo y los niveles intermedios entre ambos.



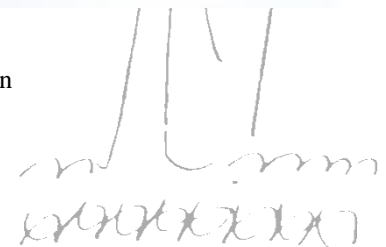


HABILIDAD: Diseño de experimentos para investigar los factores limitantes sobre fotosíntesis

- La variable que se va a medir para averiguar cómo afecta el factor limitante es la **variable dependiente**. Se necesita decidir:
 - Cómo se va a medir, incluyendo la elección del dispositivo de medida; por ejemplo, un sensor de O_2 para cuantificar el oxígeno producido en la unidad de tiempo.
 - En qué unidades se medirá; por ejemplo, en segundos mejor que en minutos u horas para medir un cambio que es rápido.
 - Cuántas repeticiones son necesarias para obtener suficientes datos fiables.



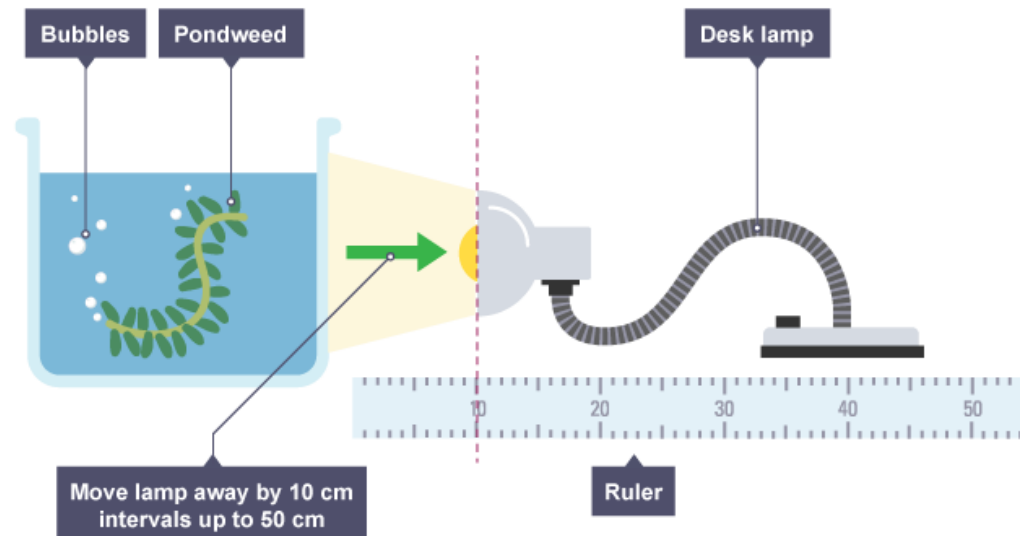
IMAGEN: labplus.cn





HABILIDAD: Diseño de experimentos para investigar los factores limitantes sobre fotosíntesis

- Otros factores que pudieran afectar a la variable dependiente son las **variables controladas**. Se necesita decidir:
 - ¿Cuáles son todas las variables controladas?
 - ¿Cómo se pueden mantener constantes cada una de dichas variables? Es aconsejable utilizar una tabla para ello.
 - En qué nivel deben de mantenerse. Por ejemplo, si estamos investigando la intensidad luminosa, la temperatura debería controlarse en el nivel óptimo para la actividad de los enzimas. Pero los posibles inhibidores del enzima deberían mantenerse en un nivel mínimo.

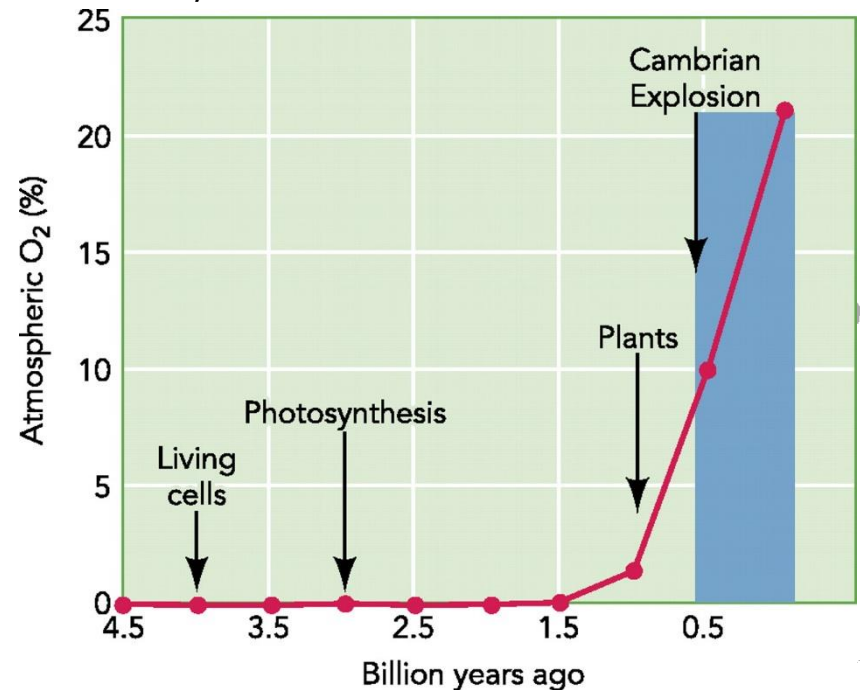


in Lamm
XXXXXX



APLICACIÓN: Cambios en la atmósfera terrestre, en los océanos y en la sedimentación de rocas como resultado de la fotosíntesis

- La **fotosíntesis** ha tenido lugar desde que comenzó a realizarse hace 3500 millones de años por los primeros procariotas fotosintéticos.
- Una consecuencia de ello es el aumento de la concentración de oxígeno en la atmósfera, que comenzó hace unos 2400 millones de años y que alcanzó un 2% en volumen hace 2200 millones de años, evento conocido como la **Gran oxidación**.
- Este aumento del O_2 atmosférico trajo consigo importantes cambios climáticos. La generación de metano (CH_4) atmosférico se debía a organismos anaerobios que disminuyeron en número al sucumbir por la presencia de O_2 .





APLICACIÓN: Cambios en la atmósfera terreste, en los océanos y en la sedimentación de rocas como resultado de la fotosíntesis

- Por otro lado, el metano se oxida rápidamente al reaccionar junto con el oxígeno molecular y la radiación UV, generando CO_2 . Este cambio de CH_4 a CO_2 en la atmósfera reduciría de forma considerable la temperatura global, desencadenando una glaciación ocurrida hace 2400 millones de años.
- El incremento de O_2 también tuvo consecuencias en los océanos, oxidando el hierro disuelto en el agua, el cuál precipitaba sobre el fondo oceánico.
- La prueba de este fenómeno se encuentra en las antiguas rocas que contienen enormes **formaciones de hierro bandedo** procedentes de la oxidación del hierro presente en el océano y que en la actualidad constituyen los principales yacimientos de hierro explotados comercialmente.



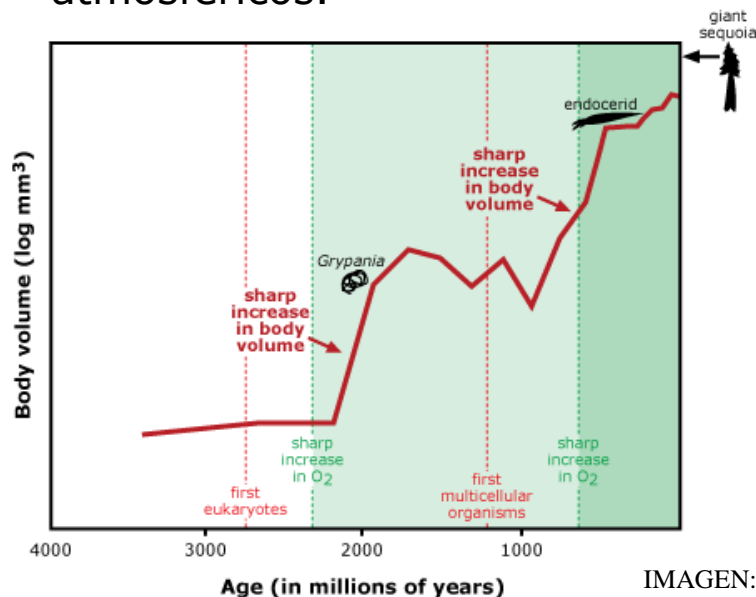
IMAGEN: wikipedia.es

XXXXXX



APLICACIÓN: Cambios en la atmósfera terrestre, en los océanos y en la sedimentación de rocas como resultado de la fotosíntesis

- Esta concentración de oxígeno permaneció en torno al 2% desde hace 2200 millones de años hasta unos 750-650 millones de años.
- En ese momento, con la aparición por evolución de los primeros organismos pluricelulares fotosintéticos, la concentración de O_2 aumentó hasta el 20% actual.
- Es interesante observar como a lo largo de la historia de la vida, existe una correlación entre el aumento del volumen corporal y los incrementos de O_2 atmosféricos.



Video4/5

IMAGEN: evolution.Berkeley.edu

