

## Tema 14. La Fase luminosa de la fotosíntesis

Javier Corzo.

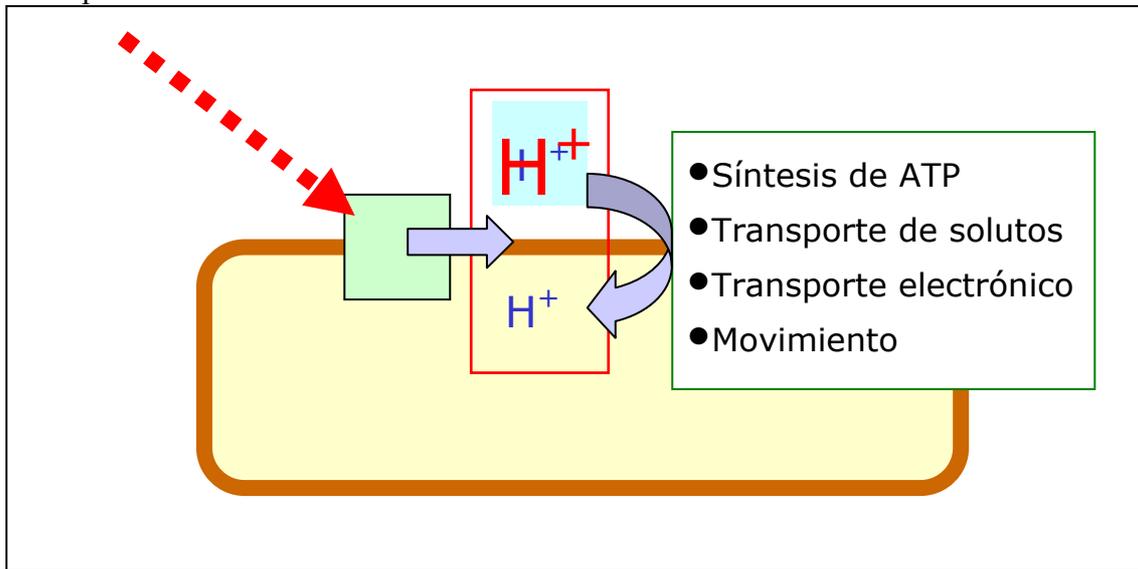
Departamento de Bioquímica y Biología Molecular  
Universidad de La Laguna

### 1.

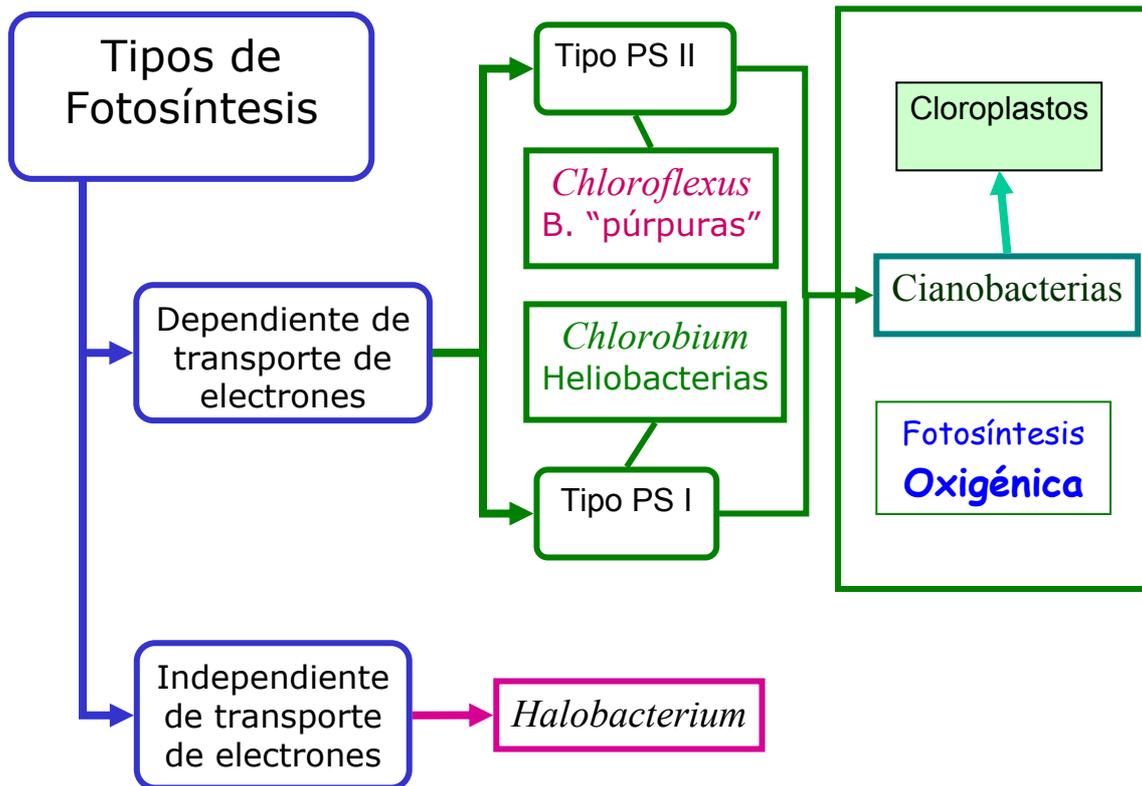
Vamos a considerar como fotosíntesis exclusivamente al proceso de transformación de la energía de la luz en energía química utilizable por la célula.

Corresponde a la denominada “fase luminosa” del estudio clásico de la fotosíntesis en los vegetales

Principio básico:



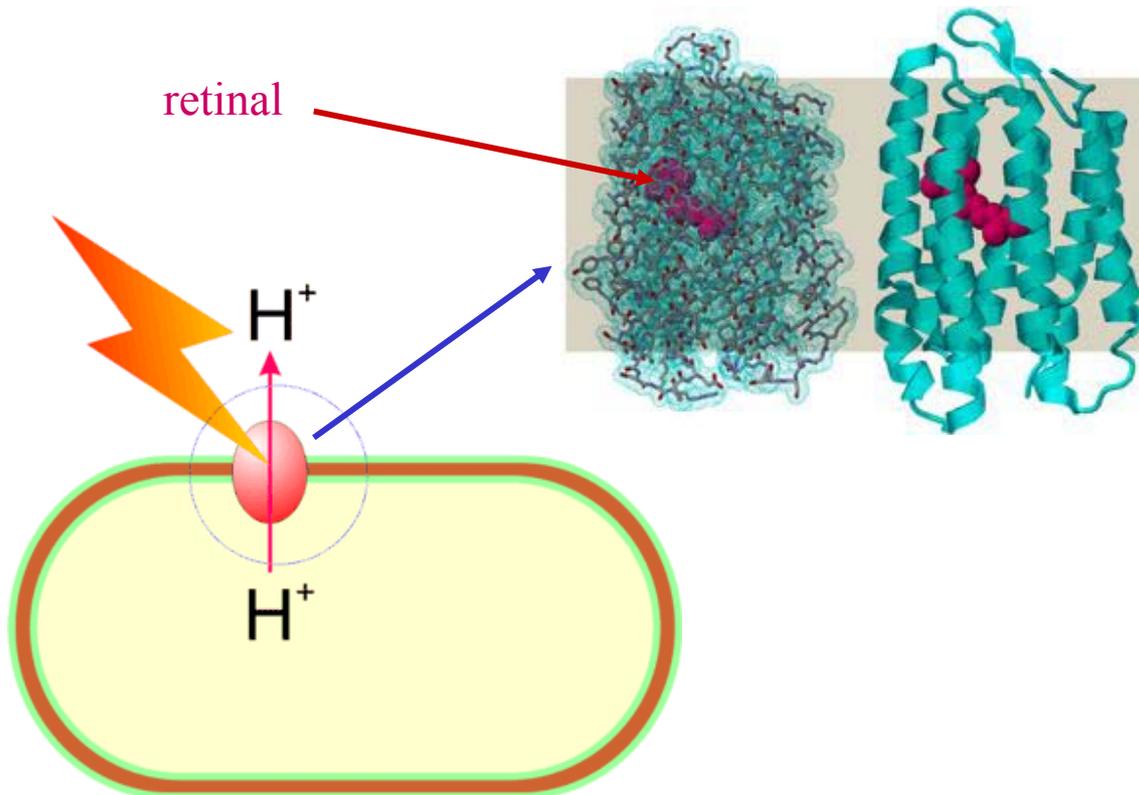
1. Se requiere un compartimento cerrado por una membrana, con un receptor capaz de absorber la energía de los fotones de luz.
2. El suceso básico consiste en el empleo de la energía de la luz para la creación de un gradiente de hidrogeniones a través de la membrana.
3. Este gradiente de hidrogeniones es un estado de elevada energía libre. Cuando los hidrogeniones se mueven a través de la membrana, a favor de su potencial electroquímico, liberan esa energía que puede aprovecharse para llevar a cabo procesos endergónicos: síntesis de ATP, transporte de solutos o reacciones redox endergónicas.
4. Es un ejemplo de Acoplamiento quimiosmótico, similar a lo que ocurre en la cadena de transporte electrónico mitocondrial.



1. La fotosíntesis dependiente de transporte de electrones requiere clorofila (puede ser de varios tipos) como cromóforo fotoquímico; la fotosíntesis de *Halobacterium* usa como cromóforo el retinal.
2. La fotosíntesis dependiente de clorofila organiza el aparato fotosintético en agregados supramoleculares de membrana denominados “fotosistemas”, de complejidad estructural muy elevada. Hay dos tipos básicos de fotosistemas, PSI y PSII, se diferencian en la organización estructural y en el mecanismo empleado para tomar los electrones de la clorofila excitada. En PSI intervienen centros hierro-azufre, mientras que en PSII participan feofitinas y quinonas del tipo plastoquinona.

## 2. La fotosíntesis más sencilla posible.

El receptor de la luz es la propia bomba de hidrogeniones. Es la bacteriorrodopsina de la arquea *Halobacterium halobium*:

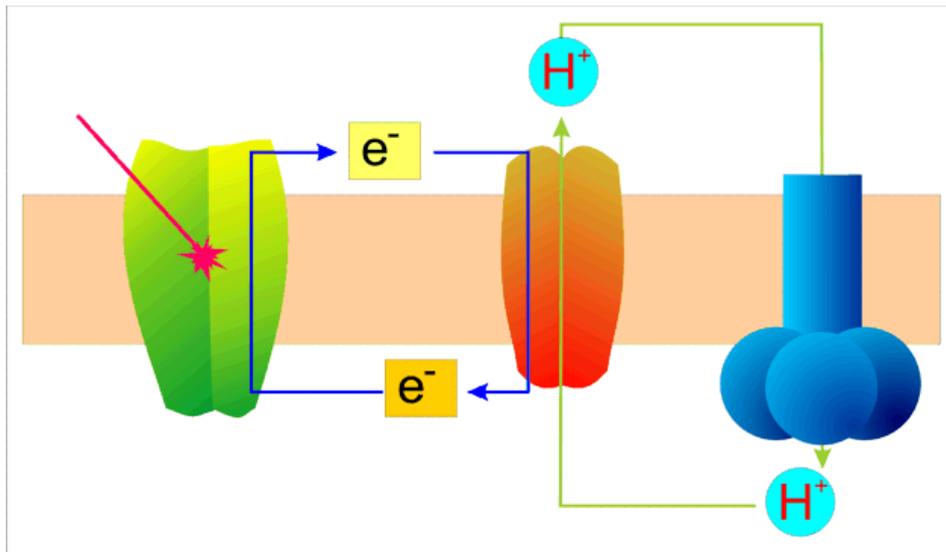


*Halobacterium* es una arquea halófila extrema. Normalmente tiene un metabolismo aerobio, pero en condiciones de anaerobiosis se produce la proteína de membrana “bacteriorrodopsina”, que es una bomba de hidrogeniones dependiente de la luz. Además, posee una segunda bomba dependiente de luz, la halorrodopsina, que se emplea para el bombeo de cloruro dentro de la célula. El gradiente de hidrogeniones lo emplea para sintetizar ATP. La estructura de la bacteriorrodopsina es de un haz de 7 hélices transmembrana (7TM).

No se conocen otros organismos con este tipo tan simple de fotosíntesis. Sin embargo, existen proteínas homólogas a la bacteriorrodopsina en bacterias y eucariotas; actúan, probablemente, como sensores de luz y no tienen importancia en el balance energético de la célula. Es de interés el hecho de que los fotorreceptores de animales que participan en la visión son también proteínas de membrana con estructura 7TM y una molécula de retinal como cromóforo.

### 3. Fotosíntesis basada en un proceso redox

La absorción de un fotón de longitud de onda (energía) adecuada excita a un electrón de la molécula de clorofila a un nivel energético superior. Esta clorofila “excitada” es muy inestable, y tiende a perder rápidamente el exceso de energía, bien reemitiendo un fotón (fluorescencia), bien transfiriendo la energía de excitación, el “excitón” a una molécula próxima, bien perdiéndola por choque con otras moléculas en forma de calor o bien, y eso es lo interesante, transfiriendo el electrón excitado a un aceptor adecuado. Este tipo de fotosíntesis se ajusta al siguiente esquema mínimo:



En este caso el bombeo de hidrogeniones y el acontecimiento fotoquímico se encuentran siempre separados, en dos complejos supramoleculares de membrana:

1. El **fotosistema que absorbe la luz** y
2. Una bomba redox de protones,

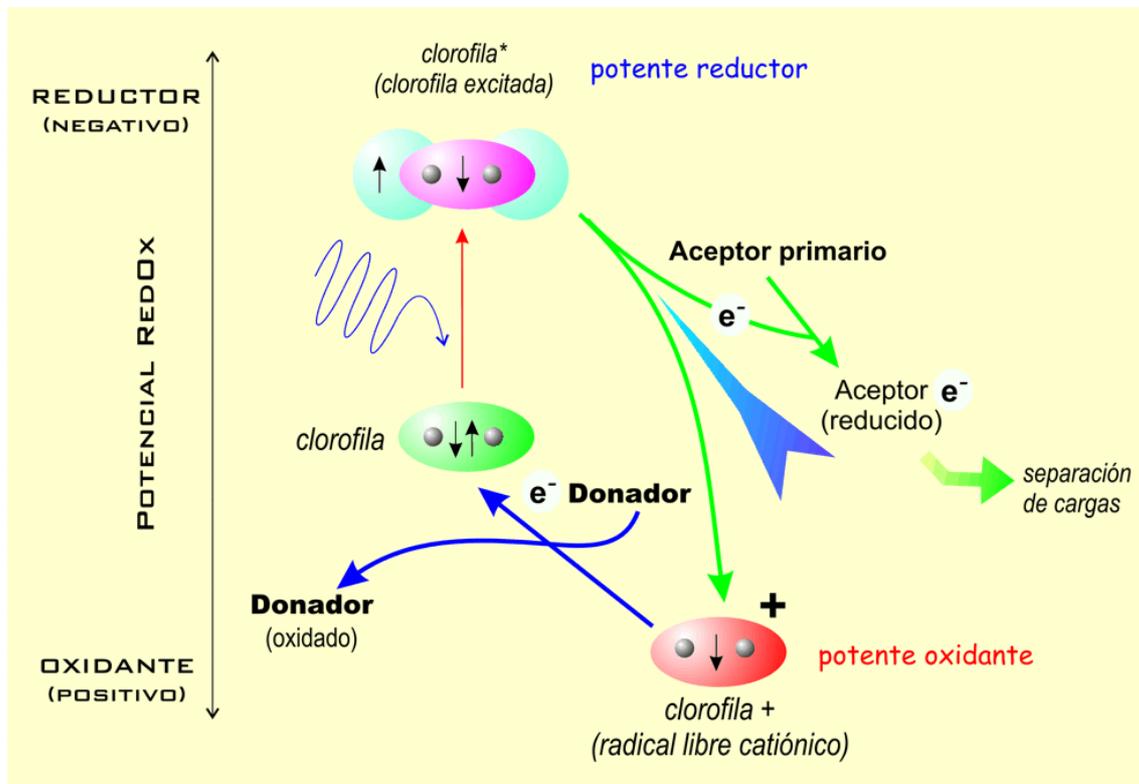
Los electrones son transportados entre ambos complejos por diversos transportadores móviles, como quinonas relacionadas con la ubiquinona, citocromos u otras metaloproteínas.

La “bomba redox” es análoga al **centro III** de la cadena de transporte electrónico respiratoria de las mitocondrias o de eubacterias, el también llamado citocromo *bc*. De hecho, en varias cianobacterias fotosintéticas un único centro III actúa tanto en la respiración como en la fotosíntesis.

El sistema funciona porque el fotosistema se puede comportar alternativamente como muy reductor (cuando absorbe un fotón), pudiendo ceder electrones al citocromo *bc*, y como un oxidante, pudiendo aceptar electrones desde el citocromo *bc*, o desde un donador alternativo, y repitiendo el proceso. En resumen, la energía del fotón se emplea en transformar a la clorofila en un reductor muy energético que, cuando cede su electrón, es un aceptor de electrones (oxidante) eficaz. La clorofila sin excitar no tiene un potencial redox especialmente negativo; no es, pues, un reductor eficaz y no cede un electrón fácilmente.

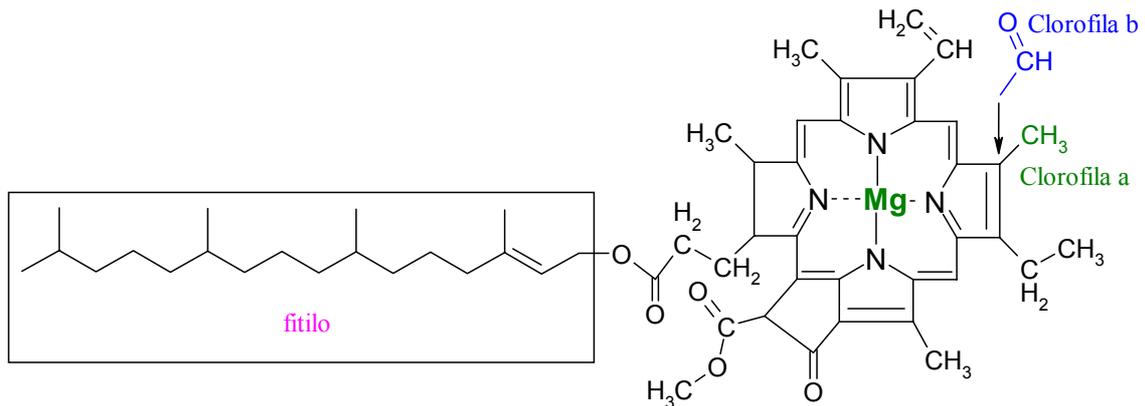
Este tipo de fotosíntesis requiere que:

1. La molécula fotosensible excitada –que es siempre un tipo de clorofila- sea un buen donador de electrones (reductor).
2. Que ceda su electrón rápidamente a un aceptor adecuado, antes de relajarse por fluorescencia (tiempo máximo de permanencia en el estado excitado antes de relajarse,  $10^{-8}$  s).
3. Que la carga negativa se separe físicamente a gran velocidad del entorno del radical libre catiónico, para evitar su recombinación.
4. Que haya un transportador que se lleve el electrón fuera del fotosistema.
5. Que haya otro transportador que ceda un electrón al radical libre catiónico, para así permitir que la molécula (clorofila) absorba un nuevo fotón y se repita el proceso.



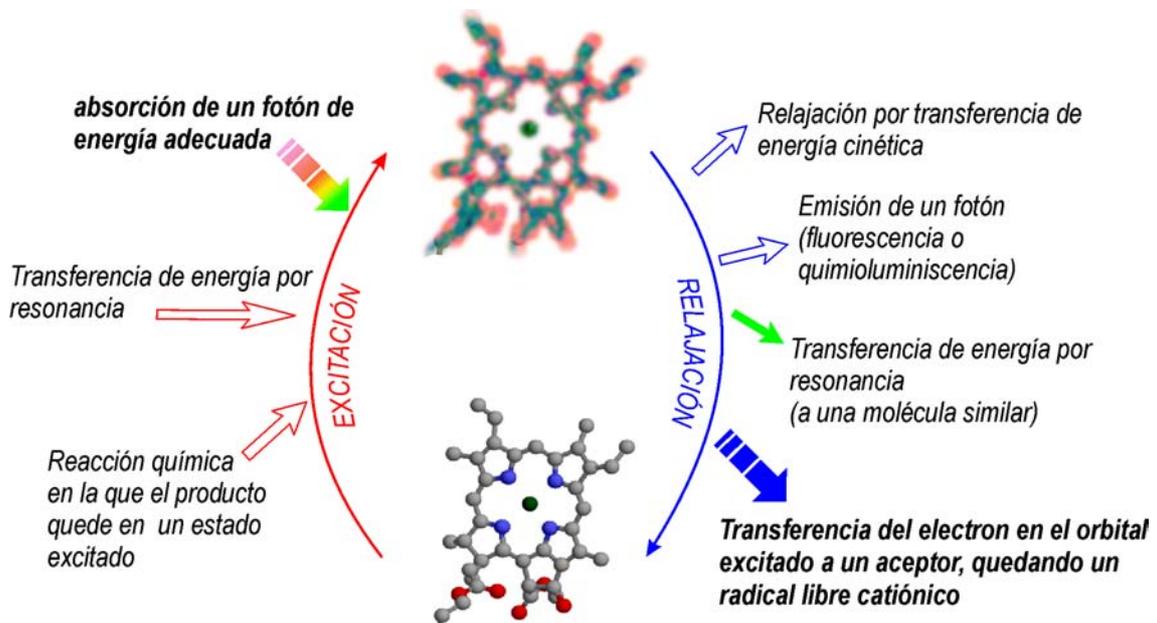
#### 4 Estructura de la clorofila

La clorofila es un tetrapirrol cíclico, al igual que el grupo hemo de la hemoglobina y los citocromos, pero con algunas diferencias importantes. En primer lugar, el átomo central es magnesio, a diferencia del hierro, hay un 5º anillo, uno de los anillos está parcialmente reducido y además posee una cola hidrofóbica de fitol (un alcohol isoprenoide de 15 carbonos). En cloroplastos hay dos clorofilas, la a y la b, que se diferencian en un sustituyente. Además, en bacterias fotosintéticas se encuentran otros tipos de clorofila, similares a las anteriores pero con pequeñas diferencias químicas.

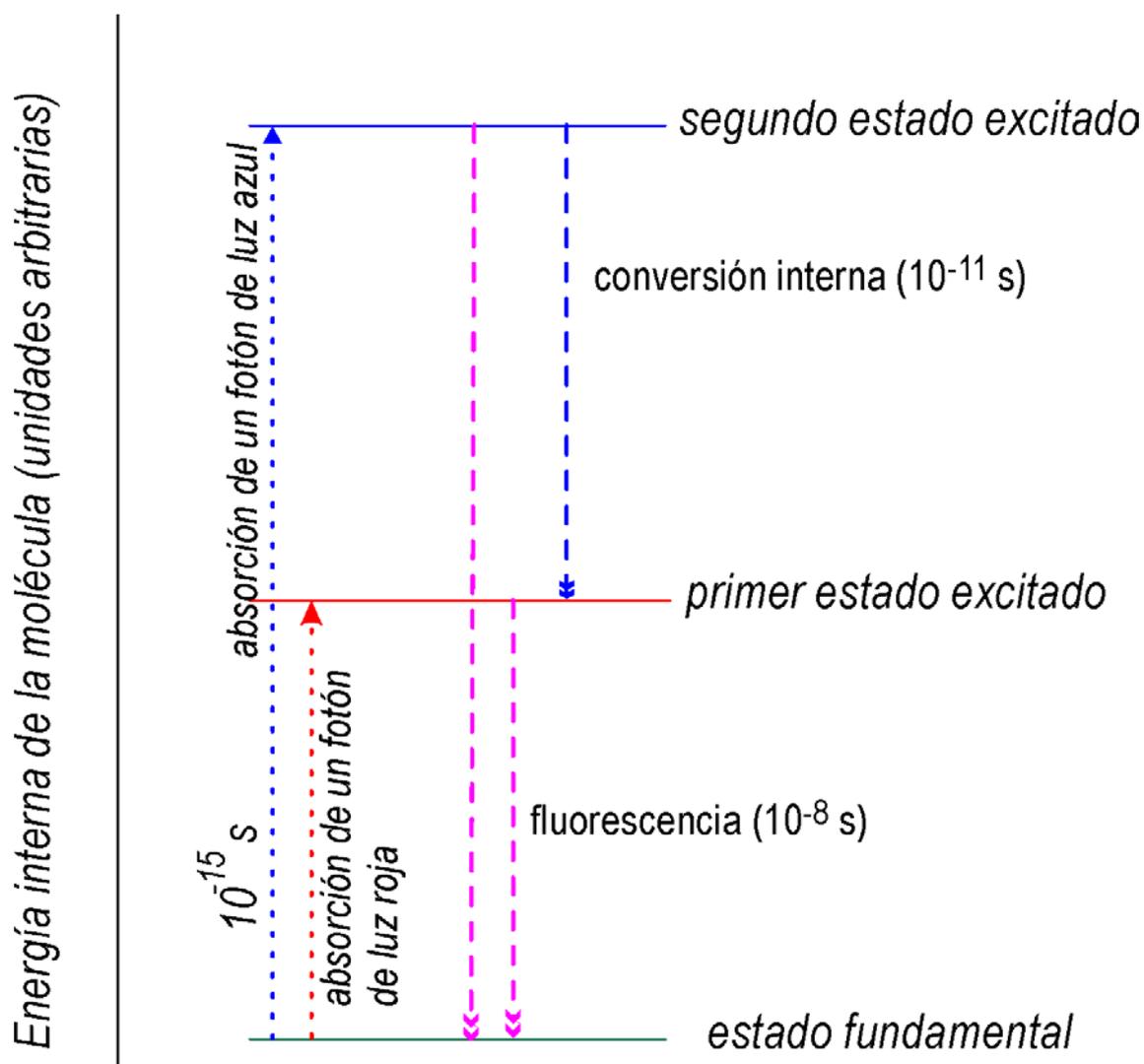


**estructura de las clorofilas a y b**

Cuando una molécula como la clorofila, absorbe un fotón, pasa a un estado de mayor energía ya que toma íntegramente la energía del fotón absorbido. Por otra parte, la molécula puede pasar al estado excitado por transferencia directa de la energía de excitación de otra molécula, o como resultado de una reacción química. El estado excitado es inestable, y la molécula tiende a perder rápidamente la energía de excitación por varios mecanismos diferentes:



La vida media de una molécula en el estado excitado es muy breve, del orden de  $10^{-8}$  segundos. Por otra parte, dado que los niveles energéticos de las moléculas están cuantizados, sólo se pueden absorber (o emitir) fotones de determinadas energías.



En el caso de las clorofilas, y de una manera muy simplificada, la absorción de fotones de luz “azul”, de alta energía ( $300 \text{ kJ.einstein}^{-1}$  para  $400 \text{ nm}$  de longitud de onda) lleva la clorofila al segundo estado excitado; en este estado la molécula pierde rápidamente unos  $130 \text{ kJ.mol}^{-1}$  en forma de calor (“conversión interna”) y queda en el primer estado excitado, de menor energía. A este estado excitado puede llegar también absorbiendo directamente un fotón de luz roja, de baja energía ( $171 \text{ kJ.einstein}^{-1}$  para  $700 \text{ nm}$ ). Es en este primer estado excitado, de vida comparativamente más larga que el anterior, donde la clorofila va a donar el electrón al aceptor adecuado.