

Actualización del currículum en educación química: la importancia de la luz solar en nuestra vida

Actualització del currículum en educació química: la importància de la llum solar a la nostra vida

Modernizing the chemistry education curriculum: the relevance of the sunlight in our life

Julia Pérez-Prieto / Universitat de València. Departamento de Química Orgánica. Instituto de Ciencia Molecular (ICMol)



resumen

Los procesos inducidos por la luz solar son vitales para los seres vivos. La naturaleza nos demuestra que los procesos térmicos y fotoquímicos se complementan para dar lugar a moléculas valiosas para los seres vivos. Además, existe una gran variedad de aplicaciones tecnológicas basadas en la capacidad de algunos materiales para absorber la luz. La luz solar es, sin lugar a dudas, el reactivo químico más «verde». Sin embargo, hay que tener en cuenta que la sobreexposición solar puede provocar efectos adversos en organismos y materiales.

palabras clave

Isomería electrónica, fotoredox, fotosensibilización, fotocatalisis, quimioluminiscencia.

resum

Els processos induïts per la llum solar són vitals per als éssers vius. La naturalesa ens demostra que els processos tèrmics i fotoquímics es complementen per donar lloc a molècules valuoses per als éssers vius. A més, hi ha una gran varietat d'aplicacions tecnològiques basades en la capacitat d'alguns materials per absorbir la llum. La llum solar és, sense cap mena de dubte, el reactiu químic més «verd». Però també cal tenir en compte que la sobreexposició solar pot provocar efectes adversos en organismes i materials.

paraules clau

Isomeria electrònica, fotoredox, fotosensibilització, fotocatalisi, quimioluminescència.

abstract

Sunlight induced processes are essential for living organisms. Nature shows that thermal and photochemical processes are combined to provide vital molecules in living beings. Furthermore, there are a variety of technological applications based on the capacity of some materials to absorb light. Sunlight is, without doubt, the «greenest» chemical reagent. But we must also bear in mind that sun exposure can cause adverse effects in organisms and materials.

keywords

Electronic isomerism, photoredox, photosensitization, photocatalysis, chemiluminescence.

La importancia de la luz en nuestra vida diaria

Los procesos inducidos por la luz solar forman parte de nuestra

vida diaria. Estos procesos (fotoprocesos) intervienen desde el mismo momento en el que abrimos nuestros ojos y, en

presencia de la luz solar (fig. 1), somos capaces de ver lo que nos rodea. La luz absorbida a través de nuestra piel juega también un

papel crucial. Así, la luz UV induce la formación de vitamina D, la cual es esencial para la absorción del calcio a través de la dieta y, como consecuencia, para que nuestro esqueleto se encuentre adecuadamente mineralizado. Además, la vitamina D se considera que está involucrada en la producción de sustancias químicas estimulantes en nuestro cerebro, tales como la serotonina y la dopamina.

También la naturaleza viva que nos rodea necesita la luz y nosotros a ella. Las plantas son reactores que nos proporcionan oxígeno y captan el CO₂ para transformarlo en hidratos de carbono (fijación del carbono, proceso endotérmico) (fig. 2). La fotosíntesis aporta la energía y los electrones para llevar a cabo la fijación del carbono (proceso de reducción del dióxido de carbono a carbohidratos de carbono). Por

lo tanto, este fenómeno, denominado *fotosíntesis*, consiste en dos procesos diferenciados: el primero (fase lumínica) se inicia con la oxidación del agua tras la absorción de luz solar por parte de las clorofilas, seguido de un proceso térmico (fase oscura) en el que el CO₂ se transforma en hidratos de carbono.

La naturaleza nos proporciona así un ejemplo de simbiosis entre los procesos térmicos y los fotoquímicos, y este es solo un ejemplo. También la formación de vitamina D (fig. 3) es un ejemplo de cooperación: la luz solar (específicamente, la luz UVB) es absorbida por el 7-deshidrocolesterol (provitamina D) que se encuentra en la piel, dando lugar a la previtamina D (proceso fotoquímico), la cual es termodinámicamente inestable. La previtamina D se transforma en vitamina D (un isómero geométrico) a través de un proceso térmico. Es interesante el papel que juega la membrana en la producción de vitamina D en animales de sangre fría como las iguanas (Holick, Tian y Allen, 1995).

En el contexto de problemas medioambientales, se utiliza la luz solar combinada con un catalizador capaz de absorberla (fotocatálisis) para la eliminación de contaminantes orgánicos no biodegradables de aguas industriales y urbanas.

Además, existe y está aumentando de forma vertiginosa la producción de materiales funcionales con aplicaciones tecnológicas basadas en la utilización de la luz. Las celdas solares, la producción de hidrógeno a partir del agua, los edificios autolimpiables, los sistemas de iluminación led (del inglés LED, *light-emitting diode*: 'diodo emisor de luz'), la obtención de imágenes *in vitro* o *in vivo* de las biomoléculas, el tratamiento del cáncer, etc., están entre un sinfín de aplicaciones de dichos materiales. Cabe destacar que la

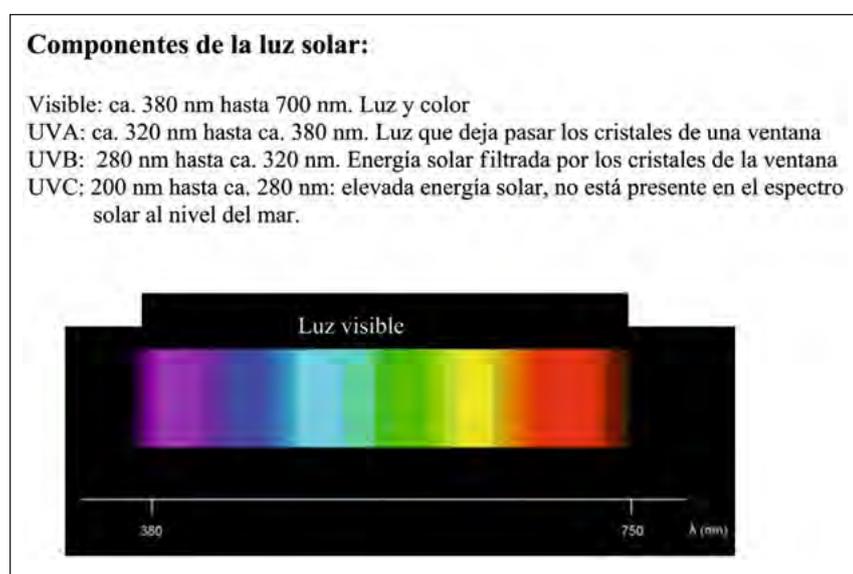


Figura 1. Los componentes de la luz solar y el espectro de la luz visible.

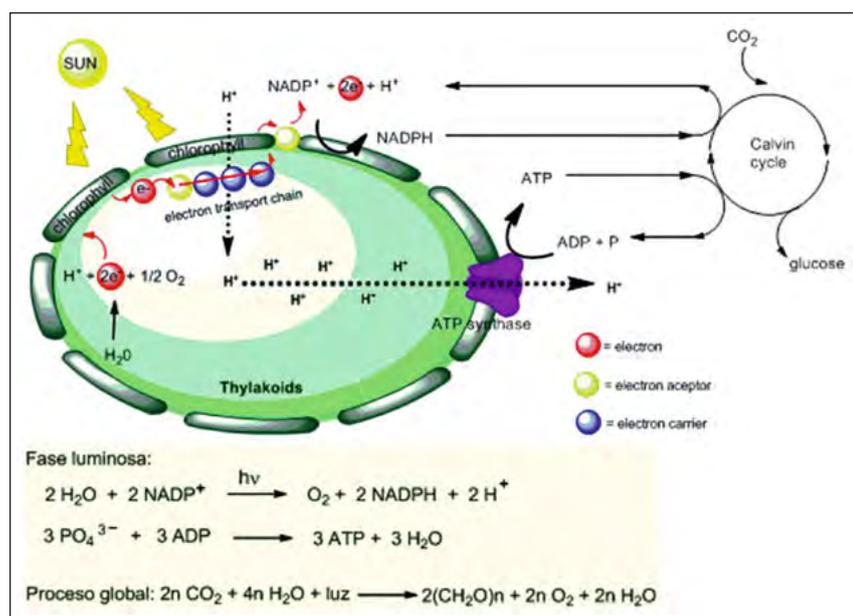


Figura 2. Esquema del proceso de fotosíntesis: la luz solar se transforma en energía química, el agua se oxida a O₂ y el CO₂ se transforma en hidratos de carbono. Esquema adaptado de Galian y Pérez-Prieto (2010).

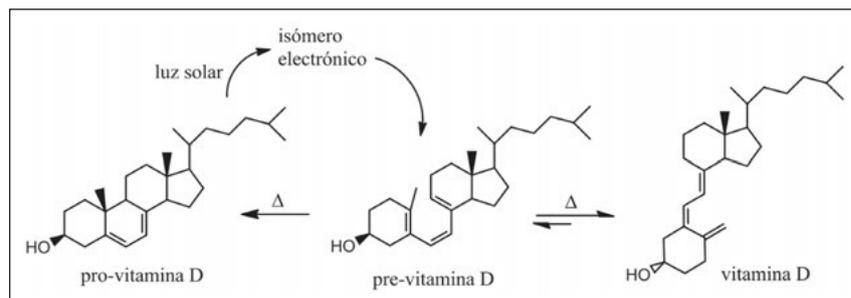


Figura 3. Transformación de la provitamina D en previtamina D en un proceso inducido por la luz y la isomerización térmica de la previtamina D en vitamina D. La previtamina D es un isómero geométrico de la vitamina D, mientras que la provitamina D es un isómero de función de la previtamina D y la vitamina D.

radiación solar es una fuente increíble de energía para nuestro planeta cuya producción anual supera las reservas de otras fuentes de energía, tales como el petróleo, el carbón, el uranio o el gas.

Pero también hay que tener en cuenta que la sobreexposición a la luz solar puede provocar efectos adversos sobre los organismos vivos. El espectro de la luz solar (fig. 1) que llega a la superficie terrestre después de atravesar la capa protectora de ozono presenta, principalmente, radiación UVA (320-ca. 380 nm) y visible (ca. 380-700 nm). La capa de ozono filtra la mayor parte de la radiación UVB (280-320 nm), la cual provoca transformaciones en la

estructura de nuestro ADN.

Nuestro organismo es sabio y tiene capacidad para realizar una reparación eficaz, siempre que ese daño no sea excesivo. El daño fotoinducido puede agravarse por los cambios climáticos y la pérdida de ozono, los cuales hacen posible que llegue a la superficie terrestre más radiación ultravioleta y, por lo tanto, incrementan el impacto negativo de la misma.

Pero hay un efecto añadido a tener en cuenta: aunque la mayor parte de las biomoléculas en nuestro organismo (endógenas) no absorben la radiación visible y UVA, la ingesta de alimentos, fármacos, etc., puede ser la entrada a nuestro organismo de moléculas (exógenas) que sí

absorben dicha luz y pueden producir especies reactivas que causen un daño directo a nuestras biomoléculas. Además, hay que tener en cuenta que, aunque nuestras moléculas no puedan absorber parte de la luz solar que llega a la superficie terrestre, moléculas exógenas, tras la absorción de la luz, pueden transferir su energía a nuestras biomoléculas, transformándolas en especies reactivas (isómeros electrónicos) que no se podrían generar por la absorción directa de la luz. Otros organismos vivos sufren también los efectos adversos de la sobreexposición a la luz solar. Además, los alimentos y los fármacos, así como materiales de interés en nuestra vida diaria, tales como el papel, los plásticos, los cosméticos, etc., pueden deteriorarse por la acción de la luz solar (Bonini et al., 2008).

Los organismos vivos presentan mecanismos de defensa frente al daño fotoinducido, pero la mejor defensa contra la sobreexposición es la prevención. En el caso de los materiales, los protectores naturales y sintéticos permiten su pervivencia. En la protección frente a los efectos adversos de la sobreexposición a la luz solar, es vital la cooperación entre la fotoquímica y la química térmica (fig. 4). Encontramos un ejemplo en los polímeros. Podemos clasificar los protectores en:

1. Antioxidantes, los cuales evitan la fotooxidación (oxidación, ruptura de sus cadenas y reacciones de entrecruzamiento entre las cadenas) de los polímeros (Guedri et al., 2005). Estos compuestos reaccionan con especies reactivas, tales como los hidropéroxidos o radicales libres que se han generado tras el proceso fotoquímico, evitando así sus efectos adversos sobre el polímero. Entre los antioxidantes, se encuentran compuestos organosulfuros y aminas estéricamente impedidas

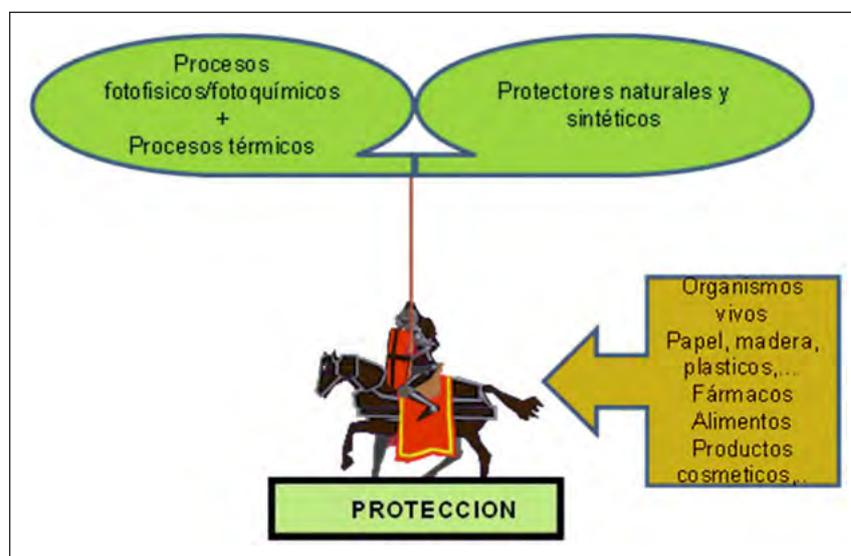


Figura 4. Los organismos vivos y diferentes materiales se pueden degradar por la acción de la luz solar.

(por ejemplo, derivados de la 2,2,6,6-tetrametilpiperidina) (Damiani, Castagna y Greci, 2002).

2. Filtros solares, los cuales absorben la luz y la disipan en forma de calor. Entre ellos, se encuentran compuestos orgánicos, tales como benzofenonas, estabilizador del PVC (Cappoci y Hubbard, 2005) y benzotriazoles para los policarbonatos, así como materiales inorgánicos, como el óxido de titanio.

Actualización del currículum en educación química

Investigadores en el área de la fotoquímica, esto es, la química del estado excitado, han realizado un gran esfuerzo no solo para comprender los procesos que experimentan las moléculas tras la absorción de la luz, sino también para establecer modelos que permitan racionalizar fácilmente dichos procesos. Así, se han planteado la siguiente pregunta: ¿cuánta teoría se necesita para enseñar fotoquímica?, llegando a la conclusión que esta disciplina se puede introducir desde los estudios secundarios, utilizando ejemplos/experimentos de procesos activados por la luz que el alumnado percibe de forma cotidiana, al igual que se enseña su disciplina complementaria «La química en el estado fundamental». Los fundamentos se irían introduciendo gradualmente durante las diferentes etapas (estudios secundarios, enseñanza universitaria de grado y máster), mano a mano con su área complementaria, ajustando la transferencia de los fundamentos y la inclusión de ejemplos/experimentos al nivel del estudiante al que va dirigido. Los experimentos deben atraer la atención del alumnado, ser sencillos, seguros y con un coste bajo.

Existen ejemplos destacados de profesores, entre los que

podemos mencionar a Michael W. Tausch (Bergische Universität de Wuppertal), que dedican su energía a demostrar que ya es el momento de incluir estos conocimientos en el currículum de química. Su objetivo es que esta generación y las futuras puedan conocer y comprender los fundamentos de los fenómenos que forman parte intrínseca de su propia existencia, así como de la de nuevos materiales o dispositivos en los que la absorción de luz juega un papel clave.

¿Cuánta teoría se necesita para enseñar fotoquímica?

Turro (1978), hace más de treinta años, puntualizó que se necesita un concepto muy simple para introducir los fundamentos de la fotoquímica: la *isomería electrónica*. Mientras que «las reacciones térmicas tienen lugar desde el estado fundamental, los procesos fotoquímicos tienen lugar desde el estado excitado, y una molécula en su estado fundamental y su estado excitado son isómeros electrónicos».

C–C; además, en el enlace C–O existe una mayor densidad electrónica localizada hacia el oxígeno, creándose así un dipolo $C^{\delta+}-O^{\delta-}$. Todos estos factores determinan su reactividad.

El grupo carbonilo puede absorber luz solar y generar así un isómero electrónico, esto es, una estructura con diferente geometría espacial, distribución de densidad de carga y distancia de enlaces. Así, la geometría del grupo carbonilo pasa a ser tridimensional y la distancia entre los átomos es diferente a la de su estado fundamental. Además, la distribución electrónica entre C y O es más homogénea y el carbono y el oxígeno presentan un electrón no apareado. Por lo tanto, el estado excitado del carbonilo es un isómero de su estado fundamental, ya que tienen los mismos átomos y su posición relativa es también la misma. El isómero del estado excitado posee una mayor energía y diferente reactividad a la del estado fundamental, por lo que su vida es muchísimo más

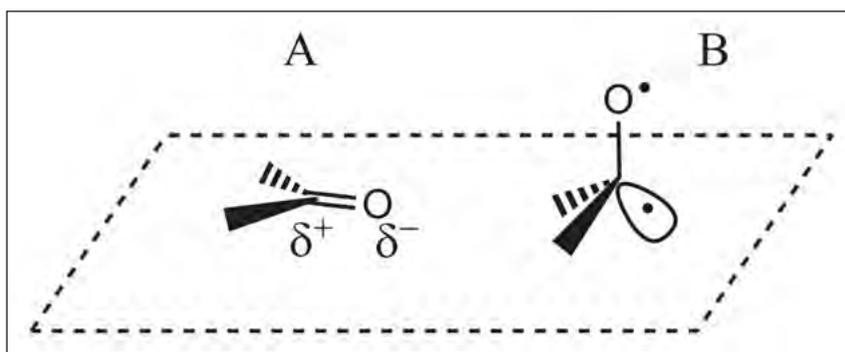


Figura 5. Isómeros electrónicos del grupo carbonilo: el estado fundamental (A) y el estado excitado de menor energía (B).

Por ejemplo: ¿qué diferencia o analogía existe entre el estado fundamental del grupo funcional carbonilo y uno de sus estados excitados? (fig. 5). En el estado fundamental, sus tres átomos de carbono y el oxígeno se encuentran en un mismo plano y la distancia C–O es inferior a la del

corta. Este isómero puede transformarse de nuevo en su isómero del estado fundamental devolviendo la energía absorbida mediante procesos fotofísicos (emisión de luz, calor) o transformarse en una nueva molécula (procesos fotoquímicos).

Todos estos procesos pueden ser resumidos en el diagrama de Jablonski (fig. 6). Este esquema puede ser utilizado como base para explicar los procesos fotofísicos y fotoquímicos que pueden tener lugar cuando una molécula o material absorbe luz.

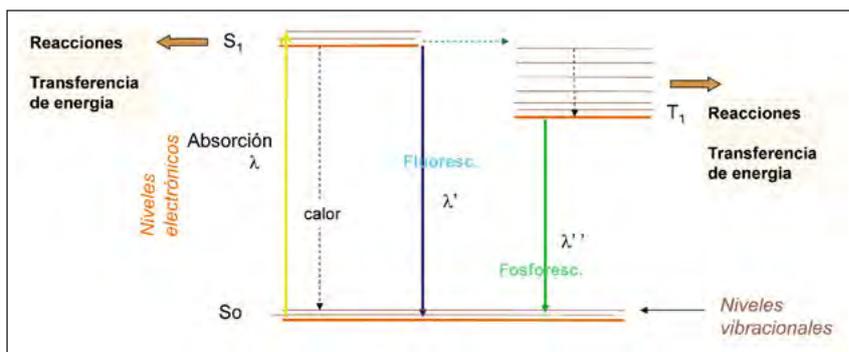


Figura 6. Diagrama de Jablonski simplificado indicando los tipos de procesos fotofísicos y fotoquímicos que puede experimentar una molécula que absorbe luz (cromóforo).

Además, Albert Einstein, en 1955, llegó a la conclusión de que, para comprender un concepto, un buen experimento puede ser mucho más valioso que veinte ecuaciones: «A pretty experiment quite often is more precious than twenty equations bred in the thinking retort».

La primera cuestión sería: ¿qué es necesario para realizar un proceso fotofísico/fotoquímico? La molécula o el material tiene que ser capaz de absorber la luz. Es importante discutir sobre el color que presentan los objetos/materiales en presencia de la luz (el color de los objetos cambia cuando los observamos durante el día, a la luz del sol, o por la noche, con la iluminación de la ciudad).

La combinación del modelo de niveles de energía del estado fundamental y el estado excitado, combinado con un experimento sencillo, es un buen punto de partida para explicar los procesos iniciados en una molécula tras la absorción de la luz. Ejemplos de experimentos sencillos se encuentran en la

página web <http://www.chemie-didaktik.uni-wuppertal.de/>.

Así, se podrían iniciar estos estudios con la explicación de la emisión de fluorescencia y fosforescencia. En realidad, los fenómenos de fluorescencia y fosforescencia son básicos para comprender el

bacterias luminiscentes (tecnología medioambiental), detección de moléculas individuales, etc.

Es importante también saber que se puede hacer química con la luz y luz con la química. A continuación, se indican varios conceptos a tener en cuenta sobre la reactividad de las moléculas en estado excitado (la química del estado excitado).

Los procesos redox pueden tener lugar por vía térmica (fig. 7): así, una molécula orgánica o inorgánica en su estado fundamental puede oxidar/reducir a otra al mismo tiempo que ella se reduce/oxida.

Los procesos redox pueden ser inducidos por la luz: en general, el estado excitado tiene más capacidad oxidante y reductora que su isómero electrónico en el estado

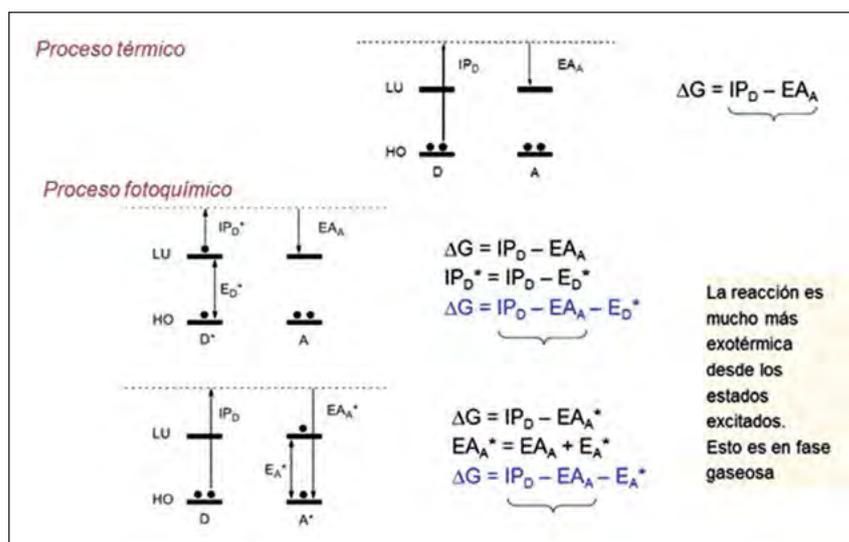


Figura 7. Proceso redox térmico frente a proceso redox fotoinducido. Las moléculas en su estado excitado son más oxidantes o reductoras que su isómero electrónico en el estado fundamental.

fundamento de muchas metodologías/aplicaciones actuales: los ensayos o inmunoensayos de diagnóstico (medicina), las proteínas fluorescentes verdes (biología), las lámparas para espectroscopia, los documentos infalsificables (seguridad), leds y oleds (del inglés OLED, *organic light-emitting diode*: 'diodo emisor de luz orgánico') para lámparas y pantallas, tintes luminiscentes para textiles, la

fundamental (fig. 7). La luz aporta parte de la energía necesaria para la oxidación de la molécula que absorbe la luz o se suma a la energía que se desprende cuando se reduce la molécula que absorbe la luz; en ambos casos, el proceso se hace más exotérmico con respecto al estado fundamental.

La fotosensibilización: el estado excitado de una molécula/sistema puede transferir su energía a

moléculas/sistemas que no la han absorbido y generar así el estado excitado de las mismas (fig. 8). Este proceso se llama *fotosensibilización* y se puede explicar de nuevo utilizando el modelo de niveles de energía del dador de energía (D) y del aceptor de la misma (A). Una vez que se genera el estado excitado de la molécula aceptor (A*), los procesos que esta va a experimentar (emisión de fluorescencia, fosforescencia, pérdida de energía en forma de calor, transformación química) dependerán de su naturaleza y del medio de la reacción (por ejemplo, un disolvente), así como de la presencia de otras moléculas.

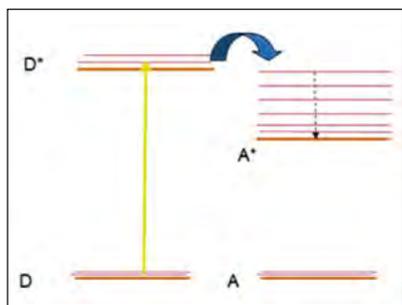


Figura 8. Fotosensibilización: se alcanza el estado excitado de una molécula A (A*) sin que esta haya absorbido luz. La molécula dadora (D) es capaz de absorber la luz. El estado excitado de la molécula dadora de energía (D*) tiene mayor energía que A*.

La *fotocatálisis*: el estado excitado de una molécula/sistema puede inducir la transformación de otra molécula/sistema (M); si dicha molécula se recupera intacta al final del proceso inducido, la llamamos *fotocatalizador* (C_L) (fig. 9). Podemos distinguir dos tipos de fotocatalisis: a) transferencia de energía del fotocatalizador en su estado excitado (C_L^{*}) a moléculas/sistemas (M) que no la han absorbido (fotosensibilización), induciendo así su transformación, y b) alternativamente, el estado excitado del fotocatalizador provoca la oxidación/reducción de

una molécula/sistema. El fotocatalizador induce una transformación en otra molécula, recuperándose al final del proceso al igual que un catalizador térmico (C_T), pero necesita absorber luz para generar su isómero electrónico reactivo, el cual es capaz de transferir energía a la molécula aceptor o participar en un proceso redox.

b) Moléculas isómeras del estado fundamental, las cuales son termodinámicamente menos estables, por lo que térmicamente evolucionan hasta su estado fundamental. Un ejemplo es el de la formación de la previtamina D a partir de provitamina D (proceso fotoquímico) y su transformación posterior a vitamina D (proceso térmico).

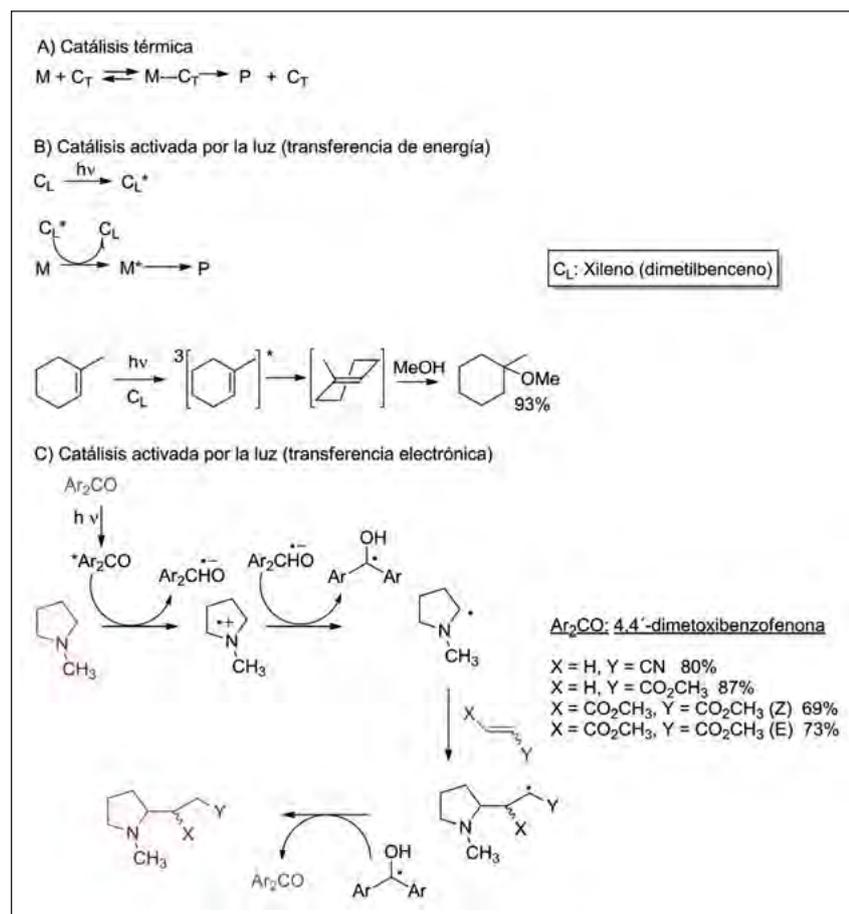


Figura 9. a) Esquema de reacción catalítica térmica; b) adición de metanol a olefinas fotocatalizada por dimetilbenceno; c) reacción de acoplamiento C-C fotocatalizada por una cetona aromática.

De los ejemplos mencionados anteriormente, se deduce que el isómero electrónico del estado excitado de una molécula puede dar lugar a:

a) Intermedios reactivos (radicales, iones radicales, iones), es decir, especies reactivas en su estado fundamental. Estas especies podrían generarse a partir de una reacción térmica; la diferencia está en el camino de reacción.

c) Moléculas isómeras del estado fundamental, las cuales son termodinámicamente menos estables y, por lo tanto, más reactivas. Un ejemplo es el de la transformación del 1-metilciclohexeno en 1-metil,1-metoxi-ciclohexano.

Además, aunque menos frecuente, todo el proceso de transformación química puede

tener lugar en el estado excitado (fig. 10), es decir, el isómero electrónico del estado excitado de M (M^*) se transforma en su producto en el estado excitado (P^*), el cual se desactiva para dar lugar a su isómero del estado fundamental. Es decir, la formación/ruptura de enlaces tiene lugar en el estado excitado.

Para una mayor profundidad en los conceptos fotoquímicos, se recomienda consultar: Turro, Ramamurthy y Scaiano (2009); Klàn y Wirz (2009); Gilbert y Baggott (1991).

Finalmente, cabe resaltar que una reacción en el estado fundamental puede dar lugar a la emisión de luz, un proceso

llamado *quimioluminiscencia* (fig. 11). Así, el luminol es capaz de producir una emisión azul cuando reacciona con agentes oxidantes, como peróxidos.

Un experimento sencillo para generar quimioluminiscencia consiste en mezclar dos disoluciones: una de ellas está compuesta por luminol e hidróxido de sodio; la otra, por ferricianuro potásico ($K_3[Fe(CN)_6]$) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2). El luminol y el H_2O_2 reaccionan y liberan energía luminosa, observándose quimioluminiscencia con un color azulado y brillante. El ferricianuro potásico actúa como catalizador de la reacción. Esta es una reacción ampliamente utilizada en química forense para la detección de restos de sangre: una disolución de H_2O_2 y de luminol se coloca en la zona donde se sospecha que hay sangre; el contacto de dicha disolución con el hierro que se encuentra en el grupo hemo de la hemoglobina actuará como catalizador de la reacción, de forma que la «zona con sangre» se iluminará de un color azul durante unos 30 s. El fenómeno de la quimioluminiscencia también está presente en algunos seres vivos, como las luciérnagas.

La radiación solar es una fuente increíble de energía para nuestro planeta y su producción anual supera las reservas de otras fuentes de energía. La naturaleza nos demuestra que los procesos térmicos y fotoquímicos se complementan para dar lugar a moléculas vitales para los seres vivos. Además, existe una gran variedad de aplicaciones tecnológicas basadas en la capacidad de algunos materiales para absorber la luz solar. Pero también hay que tener en cuenta que la sobreexposición solar puede provocar efectos adversos en organismos y materiales.

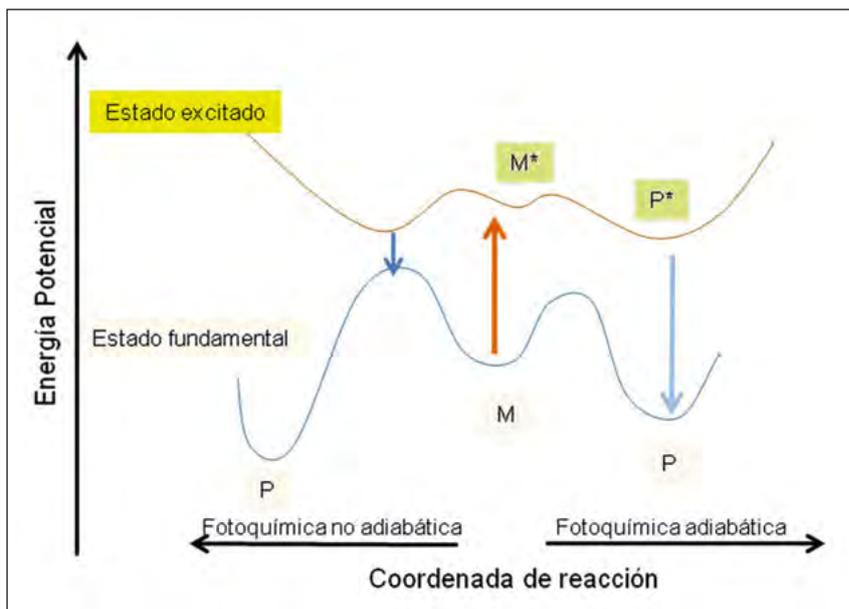


Figura 10. Descripción esquemática de los caminos de reacción para la transformación de una sustancia (M) en un producto (P) en un proceso inducido por la luz.

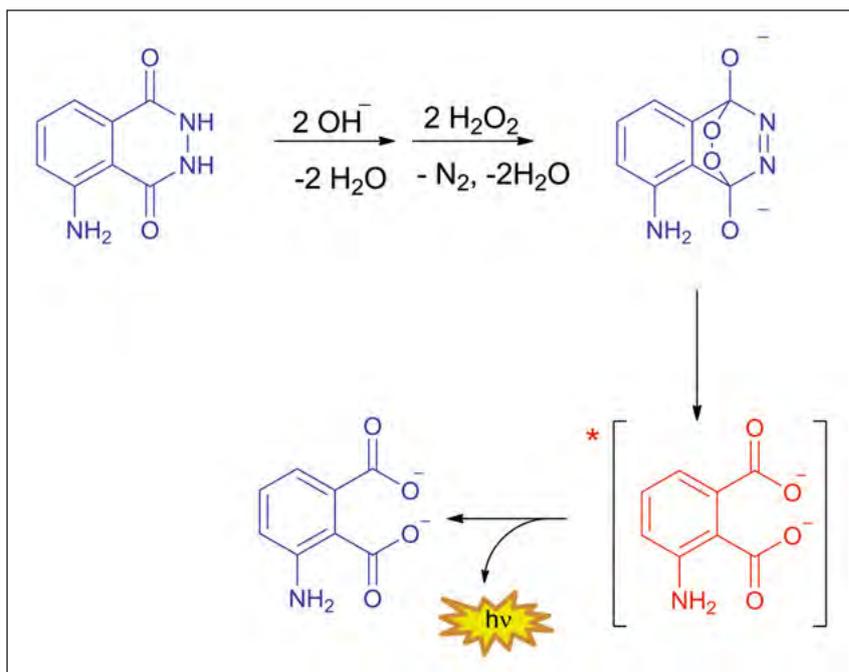


Figura 11. Ejemplo de reacción de quimioluminiscencia: el luminol reacciona con agua oxigenada para dar lugar a un producto en el estado excitado, el cual emite luz azul.

La radiación solar es una fuente increíble de energía para nuestro planeta y su producción anual supera las reservas de otras fuentes de energía

La fotoquímica estudia los procesos que tienen lugar tras la absorción de luz por parte de las moléculas y materiales, es decir, la química del estado excitado. Al igual que en la química del estado fundamental, los investigadores han ideado modelos que permiten racionalizar fácilmente dichos procesos. Por ello, la química del estado excitado se puede introducir desde los estudios secundarios, utilizando ejemplos/experimentos de procesos activados por la luz que el alumno percibe de forma cotidiana, al igual que se enseña su disciplina complementaria «La química en el estado fundamental». Experimentos sencillos, baratos, seguros, con un objetivo bien definido y adaptados al nivel del estudiante al que van dirigidos son de gran ayuda para motivar al alumno a indagar más sobre los procesos inducidos por la luz.

Por lo tanto, podemos concluir diciendo que es importante incorporar el estudio de los procesos inducidos por la luz a la enseñanza de la química, desde los estudios secundarios hasta los más avanzados. Los fundamentos se pueden ir introduciendo teniendo en cuenta el nivel del alumnado y con el apoyo de experimentos sencillos. Es esencial que el estudiante vea la sinergia que existe entre los procesos térmicos y los fotoquímicos. También ha de entender que la sobreexposición solar puede provocar efectos adversos en organismos y materiales. El daño fotoinducido puede agravar-

se por los cambios climáticos y la pérdida de ozono. El objetivo es que esta generación y las futuras puedan comprender los procesos esenciales para su vida, así como aquellos que permiten mejorarla, siendo relevantes los relacionados con la conservación del medio ambiente.

Referencias

- BONINI, C.; AURIA, M. d'; MAGGIO, P. di; FERRI, R. (2008). «Characterization and degradation of lignin from steam explosion of pine and corn stalk of lignin: the role of superoxide ion and ozone». *Industrial Crops and Products*, n.º 27, p. 182-188.
- CAPPOCI, G.; HUBBARD, M. (2005). «A radically new UV stabilizer for flexible PVC roofing membranes». *Journal of Vinyl and Additive Technology*, n.º 11, p. 91-94.
- DAMIANI, E.; CASTAGNA, R.; GRECI, L. (2002). «The effects of derivatives of the nitroxide tempol on UVA-mediated *in vitro* lipid and protein oxidation». *Free Radical Biology and Medicine*, n.º 22, p. 128-138.
- GALIAN, R. E.; PÉREZ-PRieto, J. (2010). «Catalytic processes activated by light». *Energy & Environmental Science*, n.º 3, p. 1488-1498.
- GILBERT, A.; BAGGOTT, J. (1991). *Essentials of molecular photochemistry*. Oxford: Blackwell.
- GUEDRI, L.; BEN AMOR, S.; GARDETTE, J. L.; JACQUET, M.; RIVATON, A. (2005). «Lifetime improvement of poly(ethylene naphthalate) by ZnO adhesive coatings». *Polymer Degradation and Stability*, n.º 88, p. 199-205.
- HOLICK, M. F.; TIAN, X. Q.; ALLEN, M. (1995). «Evolutionary importance for the membrane enhancement of the production of vitamin D₃ in the skin of poikilothermic animals». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United*

States of America, n.º 92, p. 3124-3126.

- KLAN, P.; WIRZ, J. (2009). *Photochemistry of organic compounds: From concepts to practice*. Chichester: Wiley.
- TAUSCH, M. W.; BOHRMANN, C. (2003). «Photogalvanic cells for classroom investigations: a contribution for the ongoing curriculum modernization». *Journal of Chemical Education*, n.º 80, p. 1471-1473.
- TAUSCH, M. W.; KORN, S. (2001). «A laboratory simulation for coupled cycles of photosynthesis and respiration». *Journal of Chemical Education*, n.º 78, p. 1238-1240.
- THYRION, F. (1971). «Photo-oxidation of leuco methyl crystal violet. A physical chemistry experiment». *Journal of Chemical Education*, n.º 48, p. 766-767.
- TURRO, N. J. (1978). *Modern molecular photochemistry*. Nueva York: Benjamin: Cummings.
- TURRO, N. J.; RAMAMURTHY, V.; SCAIANO, J. C. (2009). *Principles of molecular photochemistry*. Sausalito: University Science Books.



Julia Pérez-Prieto

Es catedrática de química orgánica y directora del Grupo de Reactividad Fotoquímica en el ICMol/UV. Su investigación se centra en el diseño y la síntesis de nuevos materiales fotoactivos de aplicación, como sensores, fotocatalizadores, bioimagen, etc. Es la coordinadora en la Universidad de Valencia del máster y doctorado en Química Sostenible y editora asociada de la revista *EPA Newsletter*.
C. e.: julia.perez@uv.es.