

# Nanomateriales que interaccionan con la luz

María Ángeles Lillo-Ródenas

*Departamento de Química Inorgánica e Instituto Universitario de Materiales (IUMA)*

*Universidad de Alicante, Apartado de Correos 99, E-03080, Alicante (Spain)*

## Resumen

El presente artículo revisa algunas aplicaciones y fenómenos derivados de la interacción de los nanomateriales y la luz. Así, como ejemplos particulares se van a comentar la fotocatalisis, el efecto Tyndall y la resonancia de plasmón superficial. Se explican brevemente sus fundamentos y se recogen ejemplos divulgativos de sus usos. Algunas de estas aplicaciones se comenzaron a desarrollar hace más de una década, aunque, como se va a mostrar, continuamente se están desarrollando nuevos e interesantes usos derivados de esta interacción, en muchos casos en el ámbito de la ciencia de materiales y de la biomedicina. A pesar de que el auge de las aplicaciones en las que la luz interacciona con los (nano)materiales es reciente, y está estrechamente ligado al desarrollo de la nanociencia y nanotecnología, en este artículo se muestra que el resultado de esta interacción era conocido y empleado desde hace muchos años en una curiosa aplicación, como es la de colorear vidrieras.

## Abstract

This article reviews some applications and phenomena derived from the interaction of nanomaterials and light. Thus, photocatalysis, the Tyndall effect and surface plasmon resonance will be particularly discussed as examples. Their fundamentals are briefly explained and an informative example of their uses is shown. Some of these applications began to be developed more than a decade ago, although, as it will be shown, new and interesting applications derived from this interaction are continually being developed, in many cases in the field of materials science and biomedicine. Despite the recent boom in applications in which light interacts with (nano) materials, closely linked to the development of nanoscience and nanotechnology, this article shows that the result of this interaction has been known for many years and used in a curious application, such as stained glass coloring.

## Introducción

Dado que en los artículos previos se han abordado los conceptos de nanociencia y nanotecnología, habiéndose definido los nanomateriales y, en general, las entidades nanométricas, que presentan tamaños del orden de los nanómetros, resulta interesante definir y recordar qué es la luz. La luz es la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano. En física, la luz forma parte del campo de las radiaciones conocido como espectro electromagnético, mientras que la expresión luz

visible señala específicamente la radiación en el espectro visible, que abarca longitudes de onda en el rango de 360-720 nm [1]. La luz, como todas las radiaciones electromagnéticas, está formada por partículas elementales, fotones, que se comportan como ondas y como partículas [1].

De forma sencilla, una onda electromagnética es la forma en la que la radiación electromagnética se desplaza a través del espacio y esta radiación electromagnética está basada en dos campos perpendiculares y oscilantes, uno eléctrico y otro magnético. La oscilación es la responsable de que la radiación describa una onda al desplazarse (de hecho, la palabra onda significa ola).

## Fotocatálisis

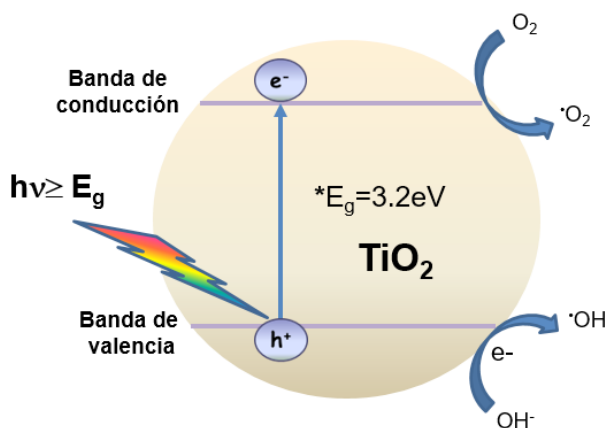
En este epígrafe se va a comentar una aplicación derivada de la interacción de la luz con los (nano) materiales, la fotocatalisis. Para entender el término fotocatalisis es preciso definir y recordar previamente el significado del término catálisis. La definición de un catalizador es una sustancia que, en general, acelera una reacción química (sin consumirse). Aunque interviene en el mecanismo de la reacción, al final de la misma vuelve a estar en su estado original [2]. Así, en los coches existen convertidores catalíticos para transformar algunos de los compuestos que aparecen con la combustión, como hidrocarburos inquemados, óxidos de nitrógeno o monóxido de carbono, en otros compuestos menos nocivos o inocuos [2].

En la fotocatalisis también tiene lugar la aceleración de una reacción química empleando un semiconductor, al que se denomina fotocatalizador (que tampoco se consume) y con ayuda de luz, idealmente luz solar [3]. De ahí el nombre de fotocatalisis, catálisis mediada por luz. En comparación con la catálisis, la mayoría de las reacciones fotocatalizadas implican un ahorro energético, porque no suele ser necesario aportar energía para calentar o, si se calienta, se hace a menor temperatura.

Desde hace unos años los nanomateriales se encuentran entre los fotocatalizadores más empleados, siendo el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) uno de los más empleados [3]. El TiO<sub>2</sub> se puede preparar de distintas formas, también como nanomateriales (nanopartículas, nanotubos...). Así, los nanomateriales de TiO<sub>2</sub>, entre otros, se usan en reacciones de descontaminación ambiental, entre otras. Por poner un ejemplo, se pueden emplear nanopartículas del semiconductor TiO<sub>2</sub> para degradar, fotocatalíticamente, compuestos orgánicos contaminantes o nocivos, a CO<sub>2</sub> y agua, con ayuda de luz, particularmente luz UV.

El esquema en el que se basa esta reacción de oxidación se recoge en la Figura 1.

A modo de ejemplo, en las referencias [4,5] se recogen datos de preparación y caracterización de algunas nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ , con tamaños de cristal del orden de pocos nanómetros. En este caso, se han aplicado en la degradación de propeno, uno de los 5 productos industriales más importantes a nivel mundial y uno de los hidrocarburos presentes en el humo del tabaco, oxidándolo a dióxido de carbono y agua mediante esta técnica y haciendo uso de luz UV a temperatura ambiente. Así, tomando como base el esquema incluido en la Figura 1, la oxidación fotocatalítica de propeno tiene lugar cuando una (nano)partícula de dióxido de titanio recibe luz de longitud de onda adecuada de acuerdo a su energía de banda prohibida,  $E_g$ . Esto da lugar a que un electrón de la banda de valencia se transfiera a la banda de conducción, apareciendo electrones en la banda de conducción y generándose huecos en la banda de valencia, los cuales intervienen en la oxidación del propeno adsorbido en el  $\text{TiO}_2$  en presencia de oxígeno.



**Figura 1.** Esquema de un fotocatalizador basado en  $\text{TiO}_2$ .  $E_g$ : Energía de banda prohibida (en inglés band gap energy) es la diferencia de energía entre la parte superior de la energía de banda de valencia y la parte inferior de la energía de la banda de conducción del semiconductor;  $e^-$ : electrones,  $h^+$ : huecos,  $h\nu > E_g$ : la energía aportada por la luz debe ser superior (del mismo orden) a la energía de banda prohibida del semiconductor.

Dentro del campo de la fotocatalisis basada en (nano) partículas de dióxido de titanio, los materiales de carbón y, de un modo especial, los nanomateriales de carbono llevan años mostrando un interesante papel [6,7]. De hecho, la incorporación de una cierta proporción de nanomateriales de carbón a la composición de los fotocatalizadores de  $\text{TiO}_2$  mejora la actividad de éstos en distintas aplicaciones. Desde el punto de vista de la mejora de la actividad, las ventajas relacionadas con esta incorporación podrían estar relacionadas con una disminución de velocidad de recombinación de los pares electrón-hueco (separación de cargas más efectiva), un aumento de la capacidad de adsorción de los sustratos a convertir o un aumento de la conductividad de los catalizadores, entre otras. Por este motivo, y por poner un ejemplo, la preparación de materiales compuestos basados

en  $\text{TiO}_2$  y nanotubos de carbono [8], y su aplicación, han recibido una gran atención.

### Efecto Tyndall

El efecto Tyndall se puede definir como la dispersión de la luz en un medio por efecto de las nanopartículas presentes en ese medio, y es un fenómeno que depende del tamaño de las partículas. La forma más visual de entender el efecto Tyndall consiste en emplear dos vasos, uno conteniendo agua y otro conteniendo una dispersión de nanopartículas en agua, y hacer incidir a través de ellos un haz láser. Las nanopartículas que están presentes en uno de los vasos (en el agua) pueden reflejar y refractar la luz y, por eso, en la dispersión de agua con nanopartículas se puede ver el trayecto que sigue un rayo luminoso (puntero láser), ya que estas nanopartículas son centros emisores de luz, mientras que en el otro vaso no se ve nada.

Así, una de las consecuencias del efecto Tyndall es que, aunque las nanopartículas son muy pequeñas, e invisibles al ojo humano, se puede comprobar que están presentes en un medio (líquido) gracias al efecto Tyndall.

Se están desarrollando algunas aplicaciones interesantes relacionadas con el efecto Tyndall y, entre los estudios científicos recientes, se va a comentar un ejemplo en el que los autores estudian la infección de un virus, el enterovirus-A71 [9]. En este trabajo, los autores han comprobado que las nanopartículas de selenio inhiben la infección del virus, pudiendo corroborar, gracias al efecto Tyndall, que el método de preparación que han empleado da lugar a nanopartículas de selenio, es decir a partículas de selenio de tamaño nanométrico.

### Resonancia de plasmón superficial

Esta se basa en que cuando un haz de luz incide sobre nanopartículas de metales nobles, como nanopartículas de oro, plata o cobre, se produce emisión de luz por parte de dichas nanopartículas. Dependiendo del tamaño, la forma y las propiedades de las nanopartículas, puede existir un solo pico de absorción, a una longitud de onda característica determinada, o puede aparecer más de un pico en el rango de longitudes de onda del visible. El color de la luz emitida dependerá del tamaño la forma y las propiedades de las nanopartículas.

El término nanomateriales y los conceptos de nanociencia son algo relativamente moderno, aunque las nanopartículas se emplean desde la antigüedad. Por poner un ejemplo, desde hace muchos años se viene utilizando, sin saberlo, el fenómeno de resonancia de plasmón superficial para colorear el vidrio de las vidrieras dándoles un color rojo, y también para colorear materiales cerámicos. Además, en el año 1857 el científico Michael Faraday llevó a cabo un estudio sistemático en el que analizó la síntesis y los colores de las dispersiones de nanopartículas de oro (coloidal). Esto demuestra que, a pesar del gran

auge de la nanociencia en la última década, algunos aspectos relacionados con esta y con su interacción eran ya empleados en el siglo XIX y anteriores.

Las nanopartículas de metales nobles, y concretamente las de oro, están siendo muy investigadas y continuamente surgen nuevas aplicaciones, basadas en estos fenómenos de interacción entre la luz y los nanomateriales. Un ejemplo de aplicación curiosa e interesante de la resonancia de plasmón superficial se basa en la posibilidad de usar nanopartículas de oro como biosensores analíticos gracias a la resonancia de plasmón superficial. Esto permite caracterizar interacciones moleculares en tiempo real, abarcando una amplia gama de moléculas, desde iones y fragmentos, hasta proteínas y virus [10].

### Conclusiones y perspectiva

Actualmente existe una intensa investigación científica en el campo de los nanomateriales debido a su amplia variedad de aplicaciones en campos biomédicos, ópticos, electrónicos, nanoquímica o agricultura, entre otros. En el presente artículo se han abordado tres aplicaciones derivadas de la interacción de la luz con los nanomateriales, que tienen por objeto la descontaminación ambiental, la identificación y caracterización de dispersiones de nanopartículas, así como el estudio de las interacciones moleculares.

Todos los días aparecen nuevos datos de materiales o aplicaciones relacionados con el campo de la nanociencia, y en concreto, con la interacción de la luz con los nanomateriales. Así, muchas de las investigaciones realizadas actualmente en este campo están enfocadas hacia el control remoto de procesos, como la liberación de fármacos en interior de una célula a partir de una señal de luz. Esta se podría emplear en el ámbito biomédico, ofreciendo nuevas opciones terapéuticas y, ciertamente, seguiremos asistiendo a nuevos e interesantes usos.

### Referencias

[1] <https://es.khanacademy.org/science/physics/light-waves/introduction-to-light-waves/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>

[2] Fundamentos de procesos químicos. A.F. Rojas González. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales, 2012.

[3] Coronado J., Fresno F., Hernández-Alonso M.D., Portela R. Design of Advanced Photocatalytic Materials for Energy and Environmental Applications. Springer-Verlag, London, 2013.

[4] Ouzzine M., Lillo-Ródenas M.A., Linares-Solano A. Photocatalytic oxidation of propene in gas phase at low concentration by optimized TiO<sub>2</sub> nanoparticles. Applied Catalysis B: Environmental 2013; 134-135: 333-343.

[5] Ouzzine M., Maciá Agulló J.A., Lillo-Ródenas M.A., Quijada Tomás C., Linares-Solano A. Synthesis of high surface area TiO<sub>2</sub> nanoparticles by mild acid treatment with HCl or HI for photocatalytic propene oxidation. Applied Catalysis B: Environmental 2014; 154-155: 285-293.

[6] Lillo-Ródenas M.A., Bouazza N., Berenguer-Murcia A., Linares-Salinas J.J., Soto P., Linares-Solano A. Photocatalytic oxidation of propene at low concentration. Applied Catalysis B: Environmental 2007; 71: 298-309.

[7] Bouazza N., Ouzzine M., Lillo-Ródenas M.A., Eder D., Linares-Solano A. TiO<sub>2</sub> nanotubes and CNT-TiO<sub>2</sub> hybrid materials for the photocatalytic oxidation of propene at low concentration. Applied Catalysis B: Environmental 2009; 92: 377-383.

[8] Woan K., Pyrgiotakis G., Sigmund W. Photocatalytic carbon-nanotube-TiO<sub>2</sub> composites. Adv. Mater. 2009; 21: 2233-2239.

[9] Li Y., Xu T., Lin Z., Wang C., Xia Y., Guo M., Zhao M., Chen Y., Zhu B. Inhibition of enterovirus A71 by Selenium nanoparticles interferes with JNK signaling pathways. ACS Omega 2019; 4: 6720-6725.

[10] <https://www.bruker.com/products/surface-plasmon-resonance.html>