



Recibido: 28.03.2022 • Aceptado: 01.02.2023

Palabras clave: Alimentación, bactericida, conservador, dióxido de titanio, electrónica.

Dióxido de titanio: héroe o villano, solución o problema

RODRIGO HUMBERTO AGUILERA DEL TORO
CENTRO DE FÍSICA DE MATERIALES, ESPAÑA
ERIK DÍAZ CERVANTES
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DEL NORESTE, UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
FAUSTINO AGUILERA GRANJA
faustino@física.uaslp.mx
INSTITUTO DE FÍSICA, UASLP

El dióxido de titanio (TiO_2) es un compuesto químico ampliamente utilizado por la humanidad; ha sido empleado desde la industria de construcción, hasta la industria alimenticia. Hoy en día ha tenido una controversia sobre su toxicidad, pero, a la fecha no ha habido estudios concluyentes que ratifiquen esta característica, por lo que su uso aún es aceptado por organismos internacionales como la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA).

Hoy en día, las nanopartículas de óxido de titanio se encuentran entre los diez materiales más utilizados en la industria a nivel global por la versatilidad de sus aplicaciones y diversidad de técnicas de preparación (Piccino, Gottschalk, Seeger y Nowack, 2012). El tamaño del mercado mundial de dióxido de titanio en nanopartículas se valoró en cerca de 10 millones de dólares (USD, por sus siglas en inglés) en 2020 y se prevé que crezca 1.5 veces este valor antes de que termine esta década, con un crecimiento anual superior al 5 por ciento, según un reporte de la APAF-Madrid (2021).

En la naturaleza, el dióxido de titanio existe en varias formas, las principales son: brookita (estructura ortorrómbica), anatasa (estructura tetragonal) y rutilo (estructura tetragonal) (figura 1). Tanto el rutilo como la anatasa son producidos a gran escala para el consumo humano, así como en el ámbito industrial. La materia prima para la producción de dióxido de titanio se origina en muy pocos países, como Sudáfrica, Sierra Leona, Arabia Saudita y Rusia; el mineral de ilmenita (foto 1) es la materia prima más importante para su producción, con un contenido variable de entre el 38 y 60 por ciento dependiendo del lugar de los yacimientos.

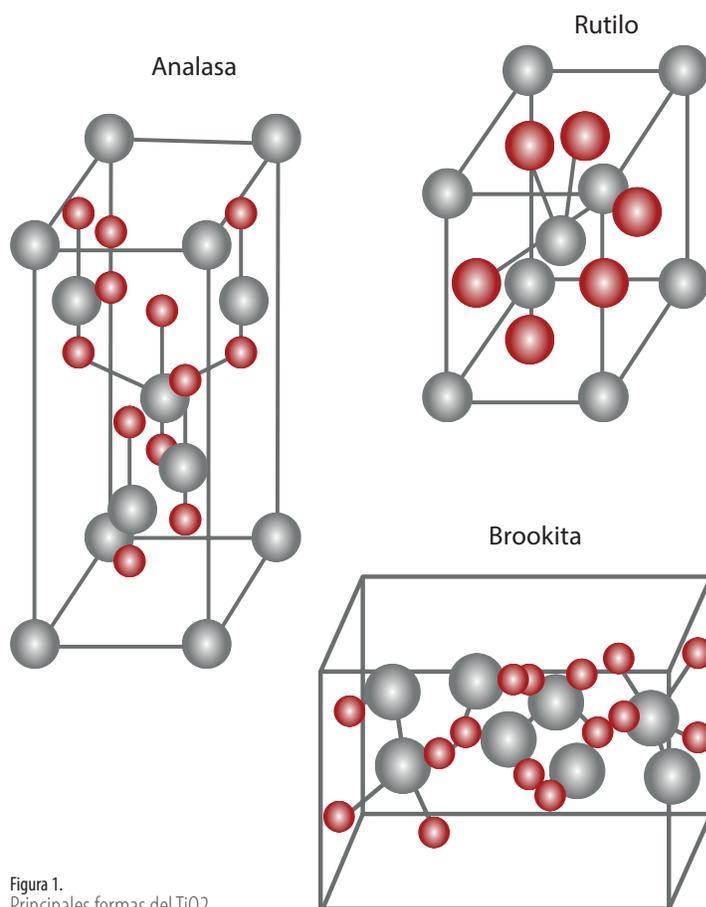


Figura 1.
Principales formas del TiO_2

El dióxido de titanio en nanopartículas es una de las presentaciones más empleadas actualmente por la comunidad científica. Es una sustancia químicamente inerte, transparente y muy pegajosa con diversas aplicaciones de alta importancia. Cualquier persona que haya tenido este fino polvo en sus manos sabe que esta sustancia química tan versátil, se adhiere muy fácilmente a las superficies.

En fase volumétrica y en nanopartículas, el dióxido de titanio se encuentra entre los óxidos más comercializados y utilizados en la industria de materiales debido a su gran número de aplicaciones. Las nanopartículas de TiO_2 han encontrado una variedad de aplicaciones en recubrimientos de fibras textiles, pigmentos, plásticos, pinturas, catálisis, fotocatalisis, optoelectrónica, biomedicina, cosméticos; alimentos como: panadería, confitería, sopas, bebidas en polvo, alimentos para mascotas, entre otros (Badui, 2006).

Aplicaciones varias

Recubrimientos ornamentales

El dióxido de titanio es un pigmento blanco de uso extenso y se aplica en pinturas y barnices para la protección contra la luz del sol debido a su alta reflectividad. Es el

ingrediente esencial para asegurar la intensidad del color, el brillo o la blancura y como medio de protección contra el amarillamiento de varias superficies, lo anterior en consecuencia a su enorme brecha prohibida (energía requerida para poder mover electrones en el sólido). En la industria de las pinturas se prefieren los blancos de la fase rutila por sobre los de anatasa, ya que tienen un mayor índice de refracción (medida para saber cuánto se reduce la velocidad de la luz en un medio). En cuanto a su actividad fotoquímica, es mayor en la anatasa que en la rutila, motivo por el cual los pigmentos a base de anatasa son usados en interiores preferentemente y los de rutila en exteriores. Al día de hoy, podemos decir que los blancos de TiO_2 son insuperables y sin sustitución en sus propiedades de pigmento; a su vez, son superiores a otros pigmentos blancos a base de óxidos de zinc (Badui, 2006).

Desgaste y corrosión

Uno de los principales problemas en la industria metalmeccánica y metalurgia es la corrosión. Esto es así, ya que por el desgaste de piezas pueden producirse accidentes, además del costo que representa sustituir los materiales dañados o el sobreespesor con el que deben diseñarse depósitos o contenedores para ampliar su tiempo de vida. Por ejemplo, un contenedor de acero

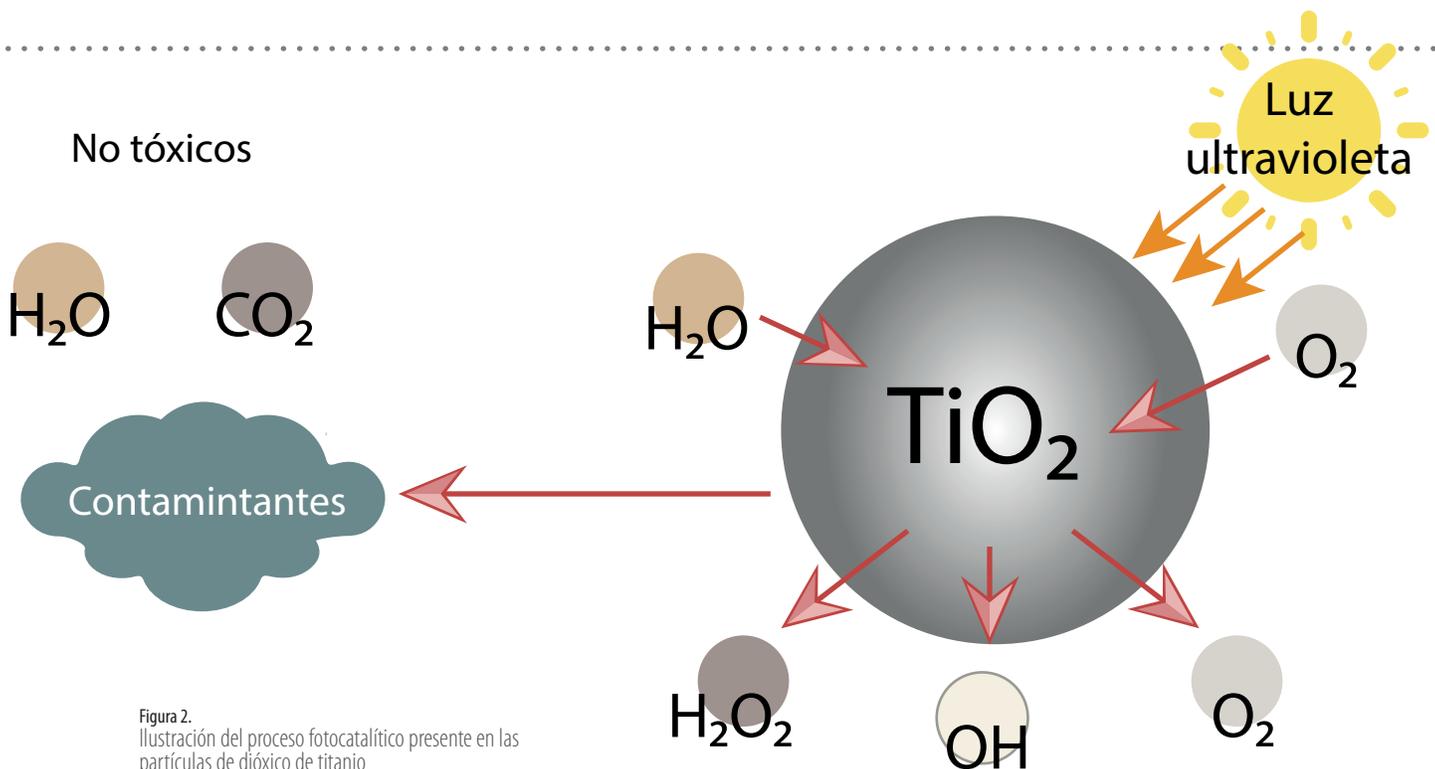


Figura 2. Ilustración del proceso fotocatalítico presente en las partículas de dióxido de titanio

de 1.35 m³ puede perder alrededor de 7g de acero al día, una cantidad despreciable comparada con su tamaño; si lo multiplicamos por la cantidad de acero existente en el planeta, se estima que aproximadamente cinco toneladas de acero, cada pocos segundos, se disuelven debido a la corrosión. En los últimos años se ha trabajado en distintas maneras de solucionar este problema. Uno de los más prometedores son los llamados *smart coatings* o recubrimientos inteligentes (Rodríguez, 2018), estos sirven como protectores para minimizar la velocidad de corrosión. Para dicho propósito existen diferentes tipos de recubrimientos, entre ellos nanocápsulas de carbono y algunos otros recubrimientos orgánicos y cerámicos. Los últimos utilizan nanomateriales como dióxido de titanio y algunos otros óxidos metálicos como la zirconia (ZrO₂), alúmina (Al₂O₃), sílice (SiO₂) para crear una barrera protectora que minimiza el contacto físico y químico de la superficie del metal con el medio ambiente.

Electrónicos

En particular, en el caso de aplicaciones electrónicas se ha hecho un gran esfuerzo para mejorar la actividad fotoquímica de TiO₂ en la fase anatasa, ya que sólo muestra respuesta a la luz ultravioleta como consecuencia de su enorme banda prohibida

(o brecha), respondiendo a una región muy estrecha de radiación solar (menos del 5% de la energía total) (figura 2). Algunos de estos intentos tratan de reducir la brecha de banda introduciendo impurezas (dopando) al material utilizando elementos metálicos y no metálicos (Rodríguez Torres *et al.*, 2007). Para ello, se han llevado a cabo tanto estudios teóricos como experimentales en sistemas volumétricos; así como en películas delgadas y nanosistemas para ver los beneficios obtenidos con diferentes impurezas o dopantes (Rodríguez Torres *et al.*, 2007). En el caso de celdas solares a base de TiO₂, de éstas se forman diferentes películas de dióxido de titanio impurificado con iones de europio, plata, vanadio, cromo y manganeso, en los que se aprovecha la reducción de la brecha prohibida resultante de este proceso. El principio de su ejecución es muy sencillo: introducir estados electrónicos en el medio de la brecha prohibida para facilitar las transiciones electrónicas y de esa manera mantener la conducción. Explicado de otra forma: igual a cuando usábamos piedras grandes en nuestra infancia para brincar sobre éstas y así poder cruzar un charco.



Foto 1.
Mineral Ilmenita

El dióxido de titanio: ¿una solución o un problema?



Las nanopartículas de óxido de titanio se encuentran entre los diez materiales más utilizados dentro de la industria a nivel mundial, pues presenta una gran diversidad de utilidades y aplicaciones.



El dióxido de titanio en nanopartículas es la presentación más utilizada dentro de la comunidad científica; es una sustancia inerte, transparente y muy pegajosa que fácilmente se adhiere a las superficies.



Sirve como un pigmento aplicable en pinturas y barnices para la protección de la luz solar y contra el amarillamiento de varias superficies. También como protectores para minimizar la velocidad de corrosión, que es uno de los principales problemas en la industria metalmecánica y metalurgia.



En la industria alimentaria combate algunos patógenos, ya que confiere la activación del oxígeno reactivo en presencia de luz UV.



La FDA aprobó el dióxido de titanio para su consumo humano en 1960; posteriormente, la EFSA lo registró como colorante alimentario. Sin embargo, una característica esencial de este compuesto en grado alimentario es que no debe contener nanomateriales, debido a lo peligroso que podría resultar su inhalación.



Estudios recientes afirman que el dióxido de titanio para uso alimenticio puede causar la formación de tumores en ratones sanos u ocasionar lesiones precarcinogénicas en el colon. Es importante resaltar que estas observaciones a un consumo significativo en la vida media de los ratones y no una exposición ocasional.

Aguilera del Toro, Díaz Cervantes y Aguilera Granja (2023). *Universitarios Potosinos*. pp. 1-7.



El TiO_2 en sus formas de rutilo y anatasa son producidas a gran escala para el consumo humano y el ámbito industrial

Alimentos

El uso de dióxido de titanio en alimentos establece que este compuesto presenta un mayor efecto biocida, específicamente contra algunos patógenos alimentarios (Mesgari, Aalami y Sahebkar, 2021). El TiO_2 ha reportado baja citotoxicidad, considerando estudios en líneas celulares (Shi, Wang, He, Yadav y Wang, 2010). Además, el comportamiento foto-catalítico de las nanopartículas de TiO_2 confiere la activación del oxígeno reactivo en presencia de luz UV, lo que promueve la degradación de la membrana de los microorganismos de interés alimentario, como la bacteria *E. coli* (Chawengkijwanich y Hayata 2008). Por lo tanto, considerando las propiedades ya mencionadas, es posible el uso de este compuesto en la tecnología de envasado de alimentos.

Riesgos para la salud

La FDA aprobó el dióxido de titanio para consumo humano en 1960, una década después, EFSA hizo lo mismo registrándolo como colorante alimentario. La característica fundamental del TiO_2 en grado alimentario es que no debe contener nanomateriales, debido a los peligros que ocasiona su inhalación (Huerta, 2019).

Recomendaciones en cuanto a los límites de exposición al dióxido de titanio han sido emitidas por la OMS, en ellas no hacen distinción de si son de grado alimenticio o grado industrial, debido a que hay evidencia de los posibles daños que podría ocasionar la inhalación de partículas de dióxido de titanio en el tracto respiratorio, fundamentalmente por su tamaño (partículas pequeñas de menos de 10 micrómetros de diámetro), ya que pueden llegar las zonas profundas de los pulmones y algunas pueden alcanzar el torrente sanguíneo. El problema estriba en su fabricación, puesto que no hay manera sencilla de lograr una nano-dispersidad controlada cuando se crean los polvos de dióxido de titanio y en consecuencia, se tiene una mezcla de micro y nanopartículas, estas últimas son las que representan un problema para la salud (Huerta, 2019).

Otros problemas: recientemente, la doctora Yolanda Irasema Chirino López y sus colaboradores de la Universidad Nacional Autónoma de México, reportaron el primer estudio en el que se muestra la capacidad del dióxido de titanio grado alimenticio para favorecer la

RODRIGO HUMBERTO AGUILERA DEL TORO

Obtuvo doble Doctorado en Física por parte del Instituto de Física de la UASLP y la Universidad de Valladolid, España. En la actualidad es investigador postdoctoral en el Donostia International Physics Center (DIPC)-Centro de Física de Materiales (CFM), San Sebastián, España, en donde trabaja con el proyecto "Estudio de cumulos oxidos de metales de transición".



formación de tumores en ratones sanos; observándose, además, que cuando no desarrollaban tumores, los roedores presentaban lesiones precarcinogénicas en el colon (Huerta, 2019). Es importante resaltar que estas observaciones corresponden, no a una exposición ocasional, sino a un consumo que representaba una parte significativa de la vida media de los ratones. Con lo anterior, si lo extrapolamos a nosotros (seres humanos), significa que nos permitiría, por ejemplo, ocasionalmente seguir comiendo donas cubiertas con azúcar glas y lavarnos los dientes sin riesgo alguno durante nuestra vida; sin embargo, sí representaría un riesgo potencial para aquellas personas que lo ingieren de forma habitual en distintos alimentos, en filtros solares, la pasta de dientes en exceso y sustitutos de crema, durante un periodo prolongado de su vida (Huerta, 2019).

A manera de cierre

Se puede decir que el dióxido de titanio, a pesar de ser un compuesto inorgánico, no se tienen estudios concluyentes que apoyen su prohibición y, en consecuencia, sigue siendo aceptado por organismos internacionales como FDA. Por lo anterior, se requieren más estudios para determinar los riesgos de su utilización en productos de consumo humano e industrial. Finalmente, como medida precautoria, deberíamos limitar su uso y hacer un consumo racional de este material tan versátil y de gran utilidad en las industrias. 

Referencias bibliográficas:

- Piccinno, F., Gottschalk, F., Seeger, S. y Nowack, B. (2012). Industrial Production Quantities and Uses of Ten Engineered Nanomaterials in Europe and the World. *Journal of Nanoparticle Research*, 14, pp. 1109-1120.
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (4a ed.). México: Pearson Educación.
- Rodríguez, J. C. (1 de junio, 2022). El futuro de los recubrimientos: "smart coatings" frente a la corrosión para la industria offshore. Recuperado de: <https://www.masscience.com/perspectiva-en-recubrimientos-smart-coatings-frente-a-la-corrosion-para-la-industria-offshore/>
- Rodríguez Torres, C. E., Cabrera, A. F., Errico, L. A., Duhalde, S., Rentería, M., Golmar, F. y Sánchez, F. H. (2007). XAS study of the local environment of impurities in doped TiO₂ thin films. *Physica B: Condensed Matter*. 398(2), pp. 219-222.
- Mesgari, M., Aalami, A. H. and Sahebkar, A. (2021). Antimicrobial activities of chitosan/titanium dioxide composites as a biological nanolayer for food preservation: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 176, pp. 530-539.
- Shi, Y., Wang, F., He, J., Yadav, S. y Wang, H. (2010). Titanium dioxide nanoparticles cause apoptosis in BEAS-2B cells through the caspase 8/t-Bid-independent mitochondrial pathway. *Toxicology letters*. 196(1), pp. 21-27.
- Chawengkijwanich, C. y Hayata, Y. (2008). Development of TiO₂ powder-coated food packaging film and its ability to inactivate *Escherichia coli* in vitro and in actual tests. *International Journal of Food Microbiology*. 123(3), pp. 288-292.
- Huerta, L. (19 de agosto, 2019). Efectos negativos del dióxido de titanio en la salud humana, *Gaceta UNAM*. Recuperado de <https://www.gaceta.unam.mx/efectos-negativos-del-dioxido-de-titanio-en-la-salud-humana/>

