



Dispositivos para la inactivación del virus COVID-19 mediante procesos de desinfección con fotones altamente energéticos de UVC + TiO₂

Diana Tonantzin Reyes Castillo^a

Miguel Lara Castro^b

Ramón Hernández Xolo^c

Ricardo Aurelio Ybarra Rivera^d

Resumen – El uso de luz UVC combinada con TiO₂ puede ser una medida efectiva para combatir la propagación del COVID-19 y reducir la posibilidad de contagio en lugares públicos, hospitales, centros educativos, mediante la desinfección de superficies y medios de transporte donde la salud humana está en riesgo. De este modo, el recubrimiento de TiO₂ al ser un compuesto químicamente estable, difícil de deteriorarse, con potencial oxidante capaz de destruir la membrana celular de las bacterias, provocando fugas del citoplasma, es capaz de coagular la proteína de virus e inhibir su actividad, por lo que puede ser un método muy prometedor para la desinfección del virus SARS-CoV-2. Esta investigación permite reducir el esparcimiento del virus COVID-19, por lo que se ha optado en la fabricación de una serie de dispositivos para llevar a cabo una desinfección de superficies con la ayuda de luz UVC+TiO₂.

Palabras clave – SARS-CoV-2, Luz UVC, TiO₂, Fotocatálisis.

Abstract – The combination of UVC light and titanium dioxide (TiO₂) can be an effective measure to combat the spread of COVID 19 and reduce the possibility of contagion in public places, hospitals, educational centers, by disinfecting surfaces and means of transports where human health is at risk. In this way, the TiO₂ coating being a chemically stable compound, difficult to deteriorate, with oxidative potential capable of destroying the cell membrane of bacteria, causing leaks of the cytoplasm, it can coagulate the virus protein and inhibiting its activity, for which may be a very promising method for the disinfection of the SARS-CoV-2 virus. This proposal seeks a way to combat the spread of the COVID-19 virus, which is why it has chosen to manufacture a series of devices to carry out a disinfection of surfaces with the help of UVC light + TiO₂.

Keywords – SARS-CoV-2, UVC Light, TiO₂, Photocatalysis

CÓMO CITAR HOW TO CITE:

Reyes-Castillo, D. T., Lara-Castro, M., Hernández-Xolo, R., y Ybarra-Rivera, R. A. (2022). Dispositivos para la inactivación del virus COVID-19 mediante procesos de desinfección con fotones altamente energéticos de UVC + TiO₂. *Interconectando Saberes*, (13), 1-9.
<https://doi.org/10.25009/is.v0i13.2736>

Recibido: 4 de diciembre de 2021
Aceptado: 24 de diciembre de 2021
Publicado: 31 de enero de 2022

^a Veratronics, México. E-mail: dianaTRC18@gmail.com

^b Veratronics, México. E-mail: septmig@gmail.com

^c Veratronics, México. E-mail: r.hernan.xolo@gmail.com

^d Veratronics, México. E-mail: ric.ybarra@gmail.com



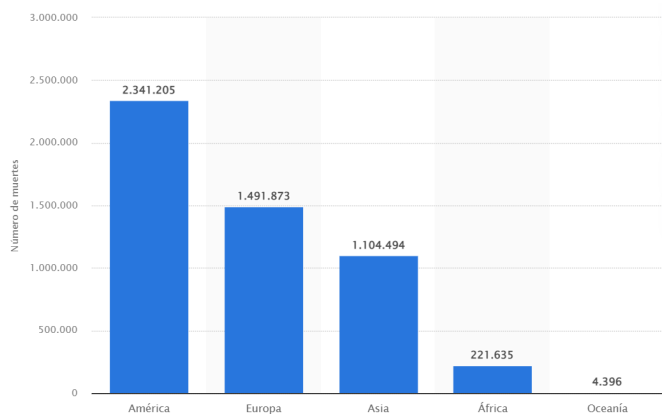
INTRODUCCIÓN

A inicios de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró una emergencia de salud pública internacional al brote de COVID-19 generado por el nuevo coronavirus SARS-CoV-2 declarándose como pandemia. Desde ese momento, las autoridades de salud pública en todo el mundo han tomado medidas para contener la propagación de la enfermedad (Unesco,2021).

A la fecha de 14 de noviembre de 2021, el número de decesos reportados fue alrededor de 5 millones de personas a nivel mundial a causa del COVID-19 (figura 1). En Asia, continente donde se originó el brote, el número de fallecimiento asciende a un millón de personas, en Europa se supera en más de 360,000 personas dicho número. En el caso de Latinoamérica, la cifra contabilizada supera los 2,3 millones de decesos (Orús,2021).

Figura 1

Número de muertes a consecuencia del coronavirus por continente.



Nota. Tomado de Statista, 2021.

Actualmente, se han estado desarrollado vacunas, tratamientos para combatir este virus y medidas de prevención para reducir el riesgo de contagio. Una de las principales recomendaciones tanto para la población como el personal médico y las unidades de salud es mantener limpios y desinfectados superficies, instrumental médico y áreas de trabajo de uso común (Singhal, 2020).

Desde alrededor de un siglo se conoce el efecto de la luz ultravioleta tipo C (UVC) contra la inactivación de virus, bacterias, micoplasmas, y hongos que se encuentran en el aire y en las superficies. A una longitud de onda de 254 nm, la luz UVC altera la estructura de la proteína de los patógenos (ADN de las bacterias y hongos, ARN en virus), lo que hace a las células incapaces de reproducirse (Jones, 2021).

Previo a la enfermedad COVID-19, algunos sistemas de ventilación incorporaron lámparas germicidas de luz UVC para esterilizar el aire, estos sistemas son útiles porque pueden utilizarse en lugares públicos como escuelas hospitales, librerías y cualquier lugar donde se reúnan personas. Igualmente, se colocan en los sistemas HVAC para limpiar el aire al mismo tiempo que impiden el crecimiento de moho y bacterias (biopelículas) dentro de los dispositivos, lo que restringe la transferencia de aire y de calor y hace que los sistemas de ventilación trabajen más duro. También, la luz ultravioleta es un método muy eficiente para la purificación de agua sin la necesidad de químicos dañinos que crean contaminación en ríos, océanos y otras masas de agua (Jones,2021).

Algunos sistemas purificadores de aire utilizan como catalizador filtros de dióxido de titanio (TiO₂), el cual es energizado con luz ultravioleta. Mediante la reacción química que se produce con dicha

combinación, se generan especies reactivas que en conjunto con las moléculas de agua del aire convierten las partículas contaminantes en partículas inofensivas (Mathur, 2021).

Debido a la pandemia, la capacidad germicida de la luz UVC ha cobrado mayor relevancia e igualmente el uso en conjunto de la luz UVC + TiO₂ ha llamado la atención de investigadores que buscan alternativas para combatir la propagación del COVID-19. Aunque todavía no hay una información concluyente que confirme que la luz UVC en conjunto con dióxido de titanio elimina al SARS-CoV-2, si existen investigaciones que prueban la eficiencia de la luz UVC contra virus que tienen la misma estructura o que pertenecen a la misma familia, y algunas evidencias de cómo trabaja con el TiO₂ en la eliminación de microorganismos.

Por lo anterior, es posible desarrollar dispositivos autónomos o semiautónomos para la inactivación del virus SARS-CoV-2, aprovechando la reacción química generada de la combinación de luz UVC con dióxido de titanio, con el objetivo de que se implementen en sectores del ámbito sanitario, empresarial y social.

FUNCIONAMIENTO DE LA LUZ ULTRAVIOLETA TIPO C (UVC)

La luz ultravioleta se divide generalmente en tres clases, según la longitud de onda de la luz. Todos ellos son invisibles al ojo humano. Las longitudes de onda más largas son luz ultravioleta A (UVA, longitud de onda 315–400 nm) y luz ultravioleta B (UVB, longitud de onda 280–315 nm), que se encuentran en la luz solar ordinaria. La luz ultravioleta A, que constituye la mayor cantidad de radiación que llega a la Tierra, es capaz de penetrar la piel, siendo la causante de la aparición de

arrugas y manchas en las personas. La luz ultravioleta B puede dañar el ADN de la piel, provocando quemaduras solares y, potencialmente, cáncer. Los rayos de luz UVA y UVB tienen una capacidad limitada para matar gérmenes porque los virus y las bacterias han tenido millones de años para adaptarse a ellos (Mackenzie, 2020).

Sin embargo, la luz ultravioleta C (UVC, longitud de onda 200 – 280 nm) es completamente absorbida por la atmosfera y nunca llega a nuestro planeta. Por lo tanto, la luz UVC es tan nueva para el SARS-CoV-2, así como el virus para los humanos (Mackenzie, 2020).

La irradiación directa de rayos de luz ultravioleta C (254 nm) es usada como método germicida, por su accesibilidad y sencillez de uso. Sin embargo, este tipo de radiación puede ser perjudicial para la salud (Kuhn, 2003).

Para la implementación a gran escala de dispositivos desinfectantes con luz ultravioleta, se deben tomar en cuenta una serie de ventajas y desventajas que se plantean a continuación.

Ventajas:

- Ataca material genético del patógeno, punto clave para su inactivación total. Su espectro es amplio comportándose igual para cualquier tipo de patógeno: virus, bacterias, hongos, esporas, etc.
- Ningún patógeno es resistente a la luz UVC, a diferencia de lo que ocurre con otros sistemas de desinfección, frente a los cuales los patógenos pueden volverse insensibles.
- El tiempo de desinfección es muy corto, este depende de las características del entorno a desinfectar, pero se trata de minutos.

- No requiere consumibles, por lo que económicamente es muy interesante.
- Por último, su mantenimiento es mínimo, con la reposición de las lámparas al final de su vida útil.

Desventajas:

- La luz ultravioleta UVC causa daños a la epidermis y en la córnea si se tiene exposición constante y directa.
- Causa daño al DNA, RNA y proteínas en las células.
- La exposición recurrente al UVC puede llevar al desarrollo de cataratas y daño en la retina.
- Las quemaduras por UVC son dolorosas, pero poco frecuentes y son lesiones que duran poco tiempo.
- Este tipo de radiación solo es eficaz cuando se aplica directamente, en lugares con ausencia de luz, sin que allá obstáculos entre el objeto que irradia la luz y la superficie a desinfectar.

Por lo tanto, para utilizar esta tecnología de manera segura, es necesario un equipo especial y personal capacitado que entienda cómo aplicarla.

FUNCIONAMIENTO DE LA LUZ UVC Y TiO_2

Existen óxidos metálicos que se utilizan para generar una reacción de fotocatalisis, sin embargo, el TiO_2 es el más utilizado debido a su estabilidad química, alta fotoestabilidad, actividad fotocatalítica, no toxicidad y que es un recurso abundante económico. Ha sido empleado en diversos productos, se ha utilizado durante siglos en una gama de productos industriales y de consumo desde protectores solares hasta en dispositivos complejos como celdas fotovoltaicas. Sus aplicaciones incluyen elaboración de pinturas, adhesivos, papel, purificación de agua, biosensores, distribución

controlada de fármacos, entre otras (X Chen, A Selloni. Chem. Rev 2014).

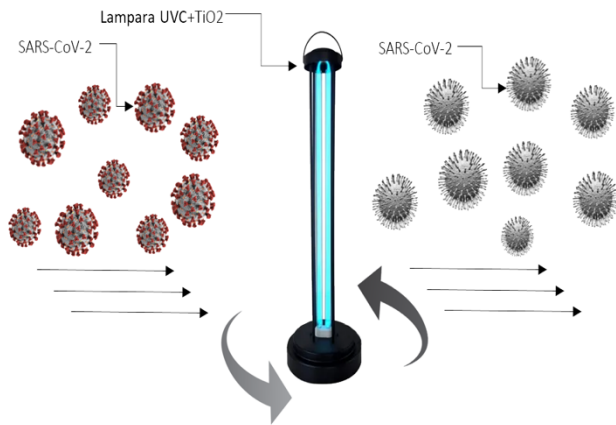
Para garantizar que los dispositivos propuestos sean eficientes contra el virus se propone aplicar una película delgada de dióxido de titanio sobre la superficie de las lámparas. El uso de TiO_2 en conjunto con la luz ultravioleta, genera un proceso llamado fotocatalisis (figura 2), el cual se ha identificado como un proceso muy prometedor para la desinfección de superficies y espacios cerrados, buscando amplificar la capacidad de eliminación de microorganismos de la luz UVC.

Cuando se irradia luz ultravioleta sobre dióxido de titanio (TiO_2) tiene lugar una reacción fotoquímica. Esta reacción de fotocatalisis, consiste en absorción de luz por parte del TiO_2 , lo que conduce a la formación y separación de pares de electrones (e^-) y huecos (h^+), y reacciones superficiales de oxidación-reducción, que ocurren entre electrones (e^-) y moléculas de oxígeno adsorbidas (O_2), las cuales producen radicales superóxido (O_2^-). Posteriormente, los huecos de electrones (h^+) y las moléculas de agua (H_2O) adicionales generan radicales hidroxilo (OH^\bullet) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Por lo tanto, dado que los radicales O_2^- , OH^\bullet y H_2O_2 , son oxidantes poderosos, mineralizan especies químicas nocivas en el aire, convirtiéndolas en sus sales inorgánicas y H_2O (Escobedo y Lasa, 2020).

En el caso de los virus como el SARS-CoV-2, los radicales hidroxilo (OH^\bullet) y aniones superóxido (O_2^-) dañan primero las capas de la pared celular, lo que permite la fuga de moléculas pequeñas como los iones. Los radicales libres ingresan al interior de la célula, de modo que, producen la degradación de los componentes internos, seguida de una mineralización completa (Bono, 2021).

Figura 2

Lámpara de Luz UV-C con recubrimiento de Dióxido de Titanio (El TiO_2 la hace más eficiente).



DISPOSITIVOS DE DESINFECCIÓN CON UVC+ TiO_2

La necesidad de actualizar los procedimientos de desinfección tras la pandemia de COVID-19 ha llevado al avance en la implementación de los robots de desinfección, los cuales, incorporan luz ultravioleta y funcionan de manera automática.

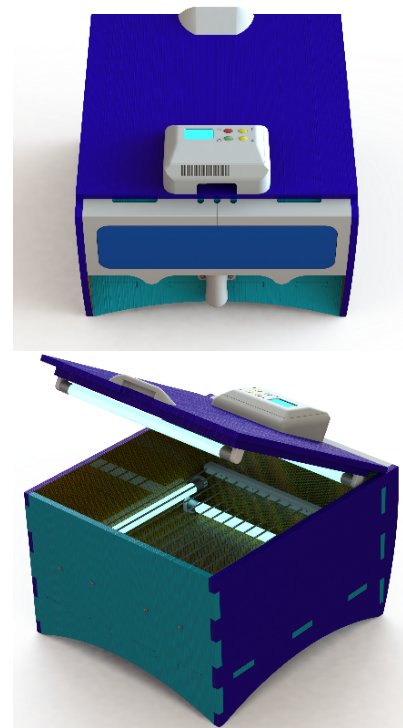
En México, se pueden encontrar lámparas germicidas UVC y se ha introducido algunos robots desinfectantes, sin embargo, en busca de mejorar los mecanismos de desinfección, se diseñaron tres dispositivos los cuales no solo implementan luz ultravioleta tipo C, sino que están cubiertas con una película delgada de TiO_2 con el objetivo de utilizarlos en escuelas, hospitales, medios de transporte, oficinas entre otros, para asegurar una correcta desinfección y ayudar a que las personas puedan reincorporarse a sus actividades de manera segura.

El primer modelo, es una cámara de desinfección para materiales de uso médico requeridos para el tratamiento de los pacientes infectados (figura 3). El dispositivo consiste en una cámara con una puerta que permita el ingreso de los materiales a desinfectar, los

cuales, se colocan sobre una rejilla. En la parte superior e inferior de la cámara se encuentran las lámparas UVC recubiertas con TiO_2 encargadas de realizar la desinfección de dichos materiales. La cámara cuenta con un sistema de control inteligente en la parte exterior que permite encender, programar el tiempo de desinfección y monitorear la exposición de los materiales.

Figura 3

Dispositivo viricida UVC+ TiO_2 "Cámara de desinfección".



El segundo dispositivo, fue diseñado para desinfección unidades de transporte público (figura 4). Este sistema consta de una barra de lámparas UVC recubiertas con TiO_2 , inclinadas sobre un soporte, que se encuentra integrado a una estructura móvil, permitiendo realizar el proceso de desinfección. El dispositivo realiza el recorrido por los pasillos de manera semiautomática, mientras las luces van irradiando y realizando la desinfección.

Figura 4

Dispositivo viricida UVC+TiO₂ "Cámara de desinfección".



Dado que un porcentaje alto de la población toma el transporte público como su única opción para trasladarse, este dispositivo viricida con tecnología UVC+TiO₂ es ideal para ayudar a limitar contagios dentro del transporte público y desinfectar las unidades de transporte (figura 5).

Figura 5

Desinfección de autobús mediante un dispositivo viricida UVC+TiO₂.

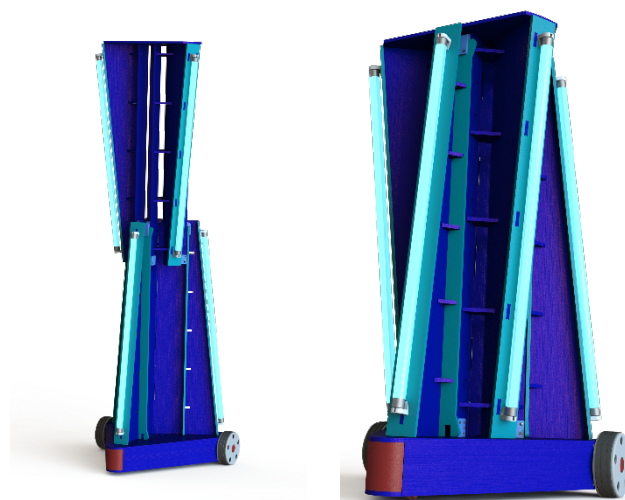


El tercer dispositivo tiene como objetivo la desinfección de aulas y salas hospitalarias (figura 6). Este consta de una barra de lámparas de luz UVC recubiertas con TiO₂ colocadas vertical y ligeramente inclinadas en una base fija. El dispositivo puede colocarse en un punto estratégico de la sala donde alcance la mayor área en la sala y también puede programarse para que siga un recorrido. Para garantizar la seguridad de las personas, el dispositivo funciona de manera remota controlado por comunicación Bluetooth mediante una aplicación móvil, para que sea desactivado inmediatamente en caso de ser necesario.

El tiempo de desinfección dependerá del espacio que se requiera desinfectar ajustando las condiciones para que se garantice la eliminación total de los contaminantes.

Figura 6

Dispositivo viricida UVC+TiO₂ para aulas y hospitales (a) desplegado, (b) no desplegado.



(a)

(b)

Actualmente, se busca la reincorporación paulatina a salones de clases ya que el riesgo de contagio es menor, no obstante, se deben continuar con las medidas necesarias para evitar futuros brotes de contagio. Por ello, el uso de este dispositivo puede ser una medida efectiva para combatir su propagación y reducir la posibilidad de contagio de COVID-19.

Figura 7

Dispositivo viricida UVC+TiO₂ instalado en una oficina.



Figura 8

Dispositivo viricida UVC+TiO₂ instalado en un salón de clases.



La desinfección completa para hospitales (figura 9), es quizás la de mayor importancia ya que son los espacios más concurridos por personas infectadas por COVID – 19, poniendo en riesgo la vida del personal médico y sus familias, por lo cual, es imperativo que estos se mantengan en constante proceso de desinfección. Teniendo esto en mente, se espera que el dispositivo con luz UVC y dióxido de titanio pueda reducir el tiempo de descontaminación de los espacios y se garantice la seguridad de los profesionales.

Figura 9

Desinfección sala de hospital mediante un dispositivo viricida UVC+TiO₂.



CONCLUSIÓN

La aplicación de dispositivos viricidas fotoactivos que trabajan con UVC y TiO₂ cumplen con el objetivo de reducir la posibilidad de contagios de COVID-19 en lugares públicos, ya que el TiO₂ activado con la luz UVC tiene potencial oxidante capaz de destruir la membrana de la bacteria SARS-CoV-2, evitando que esta se reproduzca y por lo tanto se propague.

Las principales aplicaciones donde estos dispositivos toman relevancia son:

- a) Desinfección de materiales de uso médico requeridos principalmente para el tratamiento de pacientes infectados.
- b) Transporte público, escuelas y oficinas ya que, al ser un punto de aglomeración de personas y espacios cerrados, existen muchas probabilidades de contagio.
- c) Hospitales, ya que son espacios que concentran personas donde la probabilidad de personas infectadas de COVID-19 es más alta.

Se tienen avances significativos en el uso de luz ultravioleta y dióxido de titanio como método desinfectante, sin embargo, aún se necesitan más estudios en esta nueva tecnología para que no solo se utilice como se plantea, sino que su uso sea común en la mayoría de los espacios donde se acumula la población e incluso en nuestros hogares.

REFERENCIAS

- Banerjee, S., Pillai, SC., Falaras, P., O'Shea, KE., Byrne, JA., Dionysiou, D. (2014). New Insights into the Mechanism of Visible Light Photocatalysis. *J. Phys. Chem. Lett.*, 5, 2543-2555.
- Bono, N., Ponti, F., Punta, C., Candini, G. (2021). Effect of UV Irradiation and TiO₂-Photocatalysis on Airborne Bacteria and Viruses: An Overview. *Materials*, 14(5), 1075.
- Centro Nacional de Vacunación y Enfermedades Respiratorias (NCIRD) (2021). Posibilidad de infectarse por COVID-19 después de la vacunación: infección en vacunados. *División de Enfermedades Virales*. Recuperado el 27 de noviembre de 2021 de <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/vaccines/effectiveness/why-measure-effectiveness/breakthrough-cases.html>
- Chen, X., Selloni, A. (2014) Introduction: titanium dioxide (TiO₂) nanomaterials. *Chem. Rev.*, 114, 9281-9282.
- Daghrir, R., Drogui, P., Robert, D. (2013) Modified TiO₂ For Environmental Photocatalytic Applications: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52, 3581-3599.
- Escobedo, S., Lasa, H. (2020) Photocatalysis for Air Treatment Processes: Current Technologies and Future Applications for the Removal of Organic Pollutants and Viruses. *Catalyst*, 10(9), 966.
- Jones, D. (2021). Germicidal UV's Disinfecting Role in the COVID-19 Pandemic. *Engineered systems*. Recuperado el 27 de noviembre de 2021 de <https://www.esmagazine.com/articles/101628-germicidal-uvs-disinfecting-role-in-the-covid-19-pandemic>
- Khataee, A., Mansoori, GA. (2011). *Nanostructured Titanium Dioxide Materials: Properties, Preparation and Applications*. World Scientific Publishing Co. London, SG.pp 5-7.
- Kubacka, A., Fernández-García, M., Colón, G. (2012). Advanced nanoarchitectures for solar photocatalytic applications. *Chem. Rev.*, 112, 1555-1614.
- Kuhn, K., Chaberny, I., Massholder, K., Stickler, M., Benz, V., Sonntang, H., Erdinger, L. (2003). Disinfection of surfaces by photocatalytic oxidation with titanium dioxide and UVA light. *Chemosphere.*, 53(1), 71-77.
- Mackenzie, D (2020). Ultraviolet Light Fights New Virus. *Engineering (Beijing, China)*, 6 (8), 851-853.
- Mathur, G. (2021). COVID Killing Air Purifier Based on UV & Titanium Dioxide Based Photocatalysis System. *SAE Technical Paper*. 2021-01-0214.
- Nevárez M., Espinoza P., Quiroz F., Ohtani B. (2017). Fotocatálisis: inicio, actualidad y perspectivas a través del TiO₂. *Avances en Química*. (16) 45-59.
- Ohtani, B. (2013). Cap. 5 Principle of Photocatalysis and Design of Active Photocatalysts. En *New and Future Developments in Catalysis. Sola Photocatalyst*. 121-144.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2021). COVID-19: Problemas sociales y psicológicos en la pandemia. *Network World*. Recuperado el 25 de noviembre de 2021 de <https://es.unesco.org/news/covid-19-problemas-sociales-y-psicologicos-pandemia>
- Orús A. (2021). Número de personas fallecidas a consecuencia del coronavirus a nivel mundial a fecha de 14 de noviembre de 2021, por continente. *Statista*. Recuperado el 25 de noviembre de 2021 de <https://es.statista.com/estadisticas/1107719/covid-19-numero-de-muertes-a-nivel-mundial-por-region/>

- Schneider, J., Matsuoka, M., Takeuchi, M., Zhang, J., Horiuchi, Y., Anpo, M., Bahnemann, DW. (2014). Understanding TiO₂ photocatalysis: mechanisms and materials. *Chem. Rev.*, 114, 9919-9986.
- Villanueva J.C. (2011). *Fotocatálisis con TiO₂/ultravioleta y TiO₂ CuSO₄/visible como sistemas de desinfección para inactivar E. Coli proveniente de agua residual doméstica*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Javeriana.
- Zhang, Z., Banfield, JF. (2014). Structural characteristics and mechanical and thermodynamic properties of nanocrystalline TiO₂. *Chem. Rev.*, 114, 9613-9644.