



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i4.1448>

Ciencias Naturales

Artículo de revisión

*Fotodegradación de compuestos orgánicos volátiles utilizando dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) como catalizador*

*Photodegradation of volatile organic compounds using titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) as a catalyst*

*Fotodegradação de compostos orgânicos voláteis usando dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) como catalisador*

María Matilde Duque-Mariño <sup>I</sup>

[matiduqf@hotmail.com](mailto:matiduqf@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-1973-6881>

William Johnny Jiménez-Jiménez <sup>II</sup>

[wiljim15@yahoo.es](mailto:wiljim15@yahoo.es)

<https://orcid.org/0000-0001-6302-5481>

Laura Leonor Valdez-López <sup>III</sup>

[ll\\_valdez@hotmail.com](mailto:ll_valdez@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-5883-0777>

**Correspondencia:** [matiduqf@hotmail.com](mailto:matiduqf@hotmail.com)

**\*Recibido:** 15 de agosto de 2020 **\*Aceptado:** 15 de septiembre de 2020 **\* Publicado:** 01 de octubre de 2020

- I. Diploma Superior en Atención Primaria de Salud, Magister en Bioquímica Clínica, Química y Farmacéutica, Universidad de Guayaquil, Carrera de Química y Farmacia, Ecuador.
- II. Magíster en Epidemiología, Doctor en Bioquímica y Farmacia, Químico y Farmacéutico, Universidad de Guayaquil, Carrera de Ciencias Químicas, Ecuador.
- III. Magíster en Diseño Curricular, Química y Farmacéutica, Universidad de Guayaquil, Carrera de Química y Farmacia, Ecuador.

## Resumen

Este estudio tuvo como objetivo analizar la fotodegradación de compuestos orgánicos volátiles utilizando dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) como catalizador. Para lograr este propósito se llevó a cabo una revisión documental-bibliográfica de fuentes primarias relacionadas con la temática. La metodología se enmarcó en el análisis de contenido. Para la selección de los materiales se asumieron criterios de confiabilidad y rigor científico, tomando en cuenta las publicaciones que datan del 2015 al 2020, aunque fueron tomados en cuenta de años anteriores por sus aportes. La recopilación de datos se hizo a través de la búsqueda avanzada a través de descriptores clave. La población total estuvo constituida por 15 fuentes bibliográficas. La muestra se seleccionó mediante el muestreo intencional, quedando conformada por seis (06) documentos. Los resultados de algunos trabajos consultados indican que la degradación de compuestos orgánicos como el Aroclor con TiO<sub>2</sub> irradiado oscilo entre 98,36% y 58,92%, luego de 240 minutos de foto-oxidación. En la degradación de ácido dicloroacético (DCA) con TiO<sub>2</sub>-P25, la concentración inicial del sustrato y la carga de catalizador afectan favorablemente el proceso. Se obtuvieron conversiones entre 60% y 90% confirmando la efectividad del tratamiento. Los materiales compuestos de Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> mostraron mayor estabilidad térmica y una mayor absorción en el rango visible que el TiO<sub>2</sub> puro. Se concluye que; el óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), debido a sus propiedades fotoconductoras y fotocatalíticas que lo convierten en uno de los óxidos de mayor impacto en la degradación de compuestos orgánicos volátiles (COV's).

**Palabras clave:** fotodegradación; compuestos orgánicos; fotocatalizador

## Abstract

This study aimed to analyze the photodegradation of volatile organic compounds using titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) as a catalyst. To achieve this purpose, a documentary-bibliographic review of primary sources related to the subject was carried out. The methodology was framed in content analysis. For the selection of the materials, criteria of reliability and scientific rigor were assumed, taking into account the publications that date from 2015 to 2020, although they were taken into account from previous years for their contributions. Data collection was done through advanced search through key descriptors. The total population consisted of 15 bibliographic sources. The sample was selected through intentional sampling, being made up of six (06) documents. The

results of some consulted studies indicate that the degradation of organic compounds such as Aroclor with irradiated TiO<sub>2</sub> ranged between 98.36% and 58.92%, after 240 minutes of photo-oxidation. In the degradation of dichloroacetic acid (DCA) with TiO<sub>2</sub>-P25, the initial concentration of the substrate and the catalyst load favorably affect the process. Conversions between 60% and 90% were obtained confirming the effectiveness of the treatment. Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / TiO<sub>2</sub> composites showed higher thermal stability and higher absorption in the visible range than pure TiO<sub>2</sub>. It is concluded that; titanium oxide (TiO<sub>2</sub>), due to its photoconductive and photocatalytic properties that make it one of the oxides with the greatest impact on the degradation of volatile organic compounds (VOCs).

**Keywords:** photodegradation; organic compounds; photocatalyst

## Resumo

Este estudo teve como objetivo analisar a fotodegradação de compostos orgânicos voláteis utilizando dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) como catalisador. Para tanto, foi realizada uma revisão documental e bibliográfica de fontes primárias relacionadas ao tema. A metodologia foi enquadrada na análise de conteúdo. Para a seleção do material, foram considerados critérios de fiabilidade e rigor científico, tendo em consideração as publicações que datam de 2015 a 2020, embora tenham sido tidas em anos anteriores pelas suas contribuições. A coleta de dados é feita por meio de pesquisa avançada em descritores-chave. A população total foi composta por 15 fontes bibliográficas. A amostra foi selecionada por amostragem intencional, a qual constou de seis (06) documentos. Os resultados de alguns estudos consultados indicam que a degradação de compostos orgânicos como o Aroclor com TiO<sub>2</sub> irradiado varia entre 98,36% e 58,92%, após 240 minutos de fotooxidação. Na degradação do ácido dicloroacético (DCA) com TiO<sub>2</sub>-P25, a concentração inicial do substrato e a carga do catalisador afetarão favoravelmente o processo. Foram obtidas conversões entre 60% e 90%, confirmando a eficácia do tratamento. Os materiais compostos Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / TiO<sub>2</sub> apresentam maior estabilidade térmica e maior absorção na faixa visível do que o TiO<sub>2</sub> puro. Conclui-se que; óxido de titânio (TiO<sub>2</sub>), devido às suas propriedades fotocondutoras e fotocatalíticas que o tornam um dos óxidos com maior impacto na degradação de compostos orgânicos voláteis (VOC).

**Palavras-chave:** fotodegradação; compostos orgânicos; fotocatalisador.

## Introducción

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs), agrupan a una gran cantidad de sustancias químicas, que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura. Son considerados como uno de los contaminantes antropogénicos más importantes, potencialmente nocivos, para la salud y el medio ambiente, los cuales son generados de los procesos industriales y durante la combustión de los automotores, siendo el transporte una de las principales fuentes de emisión de estas sustancias.

Es así que, gran parte de los problemas ambientales se han creado a partir de la liberación de altos volúmenes no controlados de COVs, al aire, suelo y agua. De acuerdo con (Solis , 2019), los compuestos orgánicos volátiles juegan un papel importante en muchos de los problemas medioambientales actuales, tales como agotamiento del ozono estratosférico, formación fotoquímica de ozono troposférico, potenciación del efecto invernadero global, efectos tóxicos o carcinogénicos en la salud humana, entre otros.

En un mundo cada vez más preocupado por los efectos nocivos de los COVs, son bien acogidas y de extrema necesidad, todas las acciones llevadas a cabo por la comunidad científica, con el fin de crear nuevos métodos, así como nuevas estrategias, tendientes a lograr soluciones sustentables que contribuyan a eliminar o reducir la emisión nociva al entorno. En tal sentido, (Sánchez & Otros, 2007) han señalado que se desarrollan diversos procedimientos entre los cuales la oxidación fotocatalítica, en fase gaseosa, es una tecnología, relativamente reciente, que es estudiada por sus usos potenciales en la remoción de compuestos orgánicos en corrientes de aire. Coincidiendo con estas aseveraciones con lo dicho por (Solis , 2019) sobre que en los últimos años se ha desarrollado algunas técnicas de oxidación avanzada, como es la fotocatalisis en fase gas para llevar a cabo la eliminación de estos compuestos.

En la misma línea, (Romero, 2013), plantea que “los Procesos de Oxidación Avanzada (POA) combinados con la radiación solar son considerados como una tecnología eficiente que posiblemente constituyan en un futuro próximo uno de los recursos más utilizados en el tratamiento de aguas contaminadas con moléculas orgánicas...”

Así las cosas, los Procesos de Oxidación Avanzada, centrados en el efecto de la fotocatalisis, capaz de eliminar o reducir los graves daños de los contaminantes liberados a la atmósfera o acumulados

en las aguas y el suelo, forman parte de la posible solución a los problemas actuales que alteran la estabilidad de los recursos naturales del planeta.

### **Fotocatálisis heterogénea asistida con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) como catalizador**

Según (Cámara, 2012), dentro de los procesos avanzados de oxidación (PAO), la fotocatalisis se ha convertido en una técnica atractiva e innovadora de interés creciente en su aplicación para la eliminación de multitud de compuestos orgánicos e inorgánicos. Esta misma autora ha indicado en su disertación que; “los primeros ensayos de oxidación avanzada [...] resultaron efectivos para degradar compuestos alifáticos y aromáticos clorados, PCBs, nitroaromáticos, clorantes azo, clorobenceno, PCP, fenoles, fenoles clorados, octacloro-p-dioxina y formaldehído.”

Con relación a la fotocatalisis (Jalvo, 2017), destaca que consiste en la aceleración de una fotorreacción mediante un catalizador activado por la absorción de luz visible o ultravioleta (UV). A este propósito, (Solis, 2019) asegura que; los materiales con propiedades idóneas para ser usados como fotocatalizadores son los semiconductores como el TiO<sub>2</sub>, ZnO, CdS, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeOOH, ZnS; pero el más investigado es el TiO<sub>2</sub> en diferentes formas y preparaciones. En tal sentido, (Romero, 2013), afirma que se ha concluido que el más efectivo es el TiO<sub>2</sub>, y concretamente el TiO<sub>2</sub> Degussa P25, considerado como referencia cuando se plantea el uso de nuevos materiales susceptibles de ser fotocatalizadores.

Según lo señalado por (Carbajo & Otros, 2016), “de todos los PAO uno de los más importantes en la actualidad es la fotocatalisis heterogénea asistida con dióxido de titanio como catalizador. Esto se debe a la posibilidad de utilizar la radiación solar como principal fuente de energía...” En el mismo marco, (Cámara, 2012), refiere que los semiconductores más adecuados para su empleo como fotocatalizadores [...] son aquellos que tienen una banda de energía [...] de luz visible... o, de luz ultravioleta A ( $E_g < 3,5$  eV), siendo el más empleado el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>). Igualmente, (Sillanpää, Ncibi, & Matilainen, 2018), han indicado que; el TiO<sub>2</sub> es un semiconductor muy empleado en la fotocatalisis heterogénea, esto se debe a sus propiedades de absorción de energía radiante y a su elevada estabilidad química [...]. Su irradiación es aplicable al tratamiento de aire, aguas y suelos contaminados.

Es de resaltar que, (Jalvo, 2017) sostiene que; la fotocatalisis heterogénea, a diferencia de la mayoría de los procesos fotoquímicos, no es selectiva y puede emplearse para tratar mezclas

complejas de contaminantes [...], la posibilidad de la utilización de la radiación solar [...], le otorga un importante valor medioambiental.

Debe destacarse, el TiO<sub>2</sub> se caracteriza por tener una banda prohibida (3.2 eV) que se extiende desde la banda de valencia a la banda de conducción. (Romero, 2013). De este modo, cuando las nanopartículas de TiO<sub>2</sub> son fotoexcitadas, ocurre una promoción de electrones de la banda de valencia a la de conducción, lo que a su vez forma un hueco positivo en dicha banda de valencia. (Jalvo, 2017). Por tanto, a decir de (Romero, 2013), cuando el fotocatalizador recibe la energía de un fotón se produce la excitación de un electrón en el fotocatalizador y éste gana la suficiente energía para cambiar de nivel, de la banda de valencia a la banda de conducción. Así, en palabras de (Herrmann, 2005), estas dos especies que forman un par electrón-hueco de electrón viajan a la superficie del catalizador, donde se pueden recombinar o participar en reacciones redox con las sustancias adsorbidas en la superficie del catalizador.

Como se viene apuntando, la fotocatalisis heterogénea con TiO<sub>2</sub> puede ser aplicada a la descontaminación del agua o del aire y, de acuerdo con (Jalvo, 2017), el proceso, constituye un claro ejemplo de tecnología sostenible.

En este marco, diversas investigaciones sugieren que la fotocatalisis de compuestos orgánicos volátiles utilizando dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) como catalizador, es una importante técnica para la reducción o eliminación de estas sustancias en el medio ambiente. (Valero, 2018), presentó una investigación en la Universidad Politécnica de Valencia, España, referida al Desarrollo de nuevos fotocatalizadores de dióxido de titanio para la fotodegradación de contaminantes de aguas utilizadas para el tratamiento postcosecha de frutas, las conclusiones del estudio, dan cuenta de la síntesis de tres nuevos fotocatalizadores: SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub> (anatasa); SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub>@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> y SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub> (anatasa)@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, y se han empleado en la fotodegradación del fenol y el 2-fenilfenol. También se señala que los mejores resultados para la degradación del fenol, se ha producido con el fotocatalizador SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub> (anatasa), en presencia de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tras tres horas de irradiación. Por otro lado, para el caso del 2-fenilfenol, los mejores resultados se han producido SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub> (anatasa), en presencia de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

(López, Almanza, Acosta, & Suárez, 2016), desarrollaron un estudio colaborativo en diversas universidades de Colombia, donde obtienen interesantes deducciones, a saber; los resultados

revelaron que los materiales compuestos (composites) de Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> mostraron un menor tamaño de cristal, mayor estabilidad térmica y una mayor absorción en el rango visible que el TiO<sub>2</sub> puro. A nivel nacional, (Almeida, Fernández, Castro, Villacis, & Espinoza, 2019), presentaron un trabajo colaborativo entre diversas instituciones de educación superior, en Ecuador, titulado Degradación fotocatalítica de Aroclor 1254 utilizando dióxido de titanio irradiado con haz de electrones acelerados, encontrando que: Los mejores resultados de degradación y mineralización del Aroclor 1254, se alcanzó con el TiO<sub>2</sub> irradiado a 20kGy, estos fueron de 98,36% y 58,92% respectivamente, luego de 240 minutos de foto-oxidación. De esta manera esta tecnología se convierte en una alternativa viable para solucionar el problema de la contaminación por PCBs.

Todos estos trabajos de investigación parecen confirmar la eficiencia de la técnica de fotodegradación de compuestos orgánicos, utilizando el dióxido de titanio como catalizador, como un recurso valioso para mitigar los efectos contaminantes de estos compuestos en el medioambiente.

Sobre la base de los planteamientos anteriores, se tiene que el objetivo de este trabajo fue analizar la fotodegradación de compuestos orgánicos volátiles utilizando dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) como catalizador.

## Metodología

El proceso de investigación parte de una investigación documental fundamentada en la revisión en línea, en sitios online de naturaleza académica, de publicaciones referentes a la fotodegradación de compuestos orgánicos volátiles utilizando dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) como catalizador. Para la recolección de las fuentes bibliográficas se utilizó la base de datos y, se aplicó el modelo de búsqueda avanzada a través de descriptores clave como: fotodegradación, compuestos orgánicos volátiles, dióxido de titanio, catalizador.

La información se obtuvo de fuentes primarias como artículos, trabajos de grado, tesis doctorales, de reciente publicación entre 2015 hasta 2020. No obstante se tomaron en consideración los aportes de publicaciones anteriores por su relevancia para este estudio. Para ello se establecieron los siguientes criterios: selección del buscador de la base de datos, tales como, Scielo, Dialnet, otros; así como el título, año de publicación, idioma. La población quedó conformada por 15 registros

artículos/tesis, atendiendo a los criterios mencionados. El muestreo fue intencional, quedando la muestra conformada por seis (06) documentos que se ajustaron al objetivo y criterios del estudio. Para el análisis de los resultados se ordenó y clasificó el material recopilado y como forma de presentar los resultados se estructuró una síntesis mostrada en la tabla 1. Finalmente se presenta la discusión de resultados y las conclusiones de la investigación.

## Análisis y discusión

**Tabla 1** Fuentes bibliográficas consultadas por año de publicación

Autor/Año	Resultados/Conclusiones
(Almeida, Fernández, Castro, Villacis, & Espinoza, 2019)	Los mejores resultados de degradación y mineralización del Aroclor 1254, se alcanzó con el TiO <sub>2</sub> irradiado a 20kGy, estos fueron de 98,36% y 58,92% respectivamente, luego de 240 minutos de foto-oxidación. De esta manera esta tecnología se convierte en una alternativa viable para solucionar el problema de la contaminación por PCBs
(Muñoz & Palomino, 2019)	Se concluyó que el tiempo de tratamiento influye significativamente en la reducción de demanda química de oxígeno (DQO) y es contraria para la concentración del TiO <sub>2</sub> y la interacción concentración del TiO <sub>2</sub> X tiempo de tratamiento.
(Arce, Machuca, & Mueses, 2019)	El análisis cinético mostró que la degradación de ácido dicloroacético (DCA) en un reactor placa plana a escala piloto, con los efectos de concentración inicial de sustrato y carga de catalizador TiO <sub>2</sub> -P25, es controlada por los efectos del proceso fotocatalítico solamente. La concentración inicial del sustrato y la carga de catalizador afectan favorablemente el proceso. Se obtuvieron conversiones entre 60% y 90% confirmando la efectividad del tratamiento.
(Valero, 2018)	Síntesis de tres nuevos fotocatalizadores: SiO <sub>2</sub> @TiO <sub>2</sub> (anatasa); SiO <sub>2</sub> @TiO <sub>2</sub> @Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> y SiO <sub>2</sub> @TiO <sub>2</sub> (anatasa)@Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , y se han empleado en la fotodegradación del fenol y el 2-fenilfenol. También se señala que los mejores resultados para la degradación del fenol, se ha producido con el fotocatalizador SiO <sub>2</sub> @TiO <sub>2</sub> (anatasa), en presencia de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , tras tres horas de irradiación. Por otro lado, para el caso del 2-fenilfenol, los mejores resultados se han producido SiO <sub>2</sub> @TiO <sub>2</sub> (anatasa), en presencia de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .
(Cruz, Díaz, Cortés, & Múzquiz, 2017)	El catalizador presentó un alto grado de degradación térmica lo que ocasionó pérdida significativa de superficie específica y transformación de fase cristalina. La presencia de sulfatos, en los catalizadores de TiO <sub>2</sub> , proporciona estabilidad al catalizador y tienen

una notable influencia sobre la selectividad y el rendimiento de la reacción.

(López, Almanza, Acosta, & Suárez, 2016) Los resultados revelaron que los materiales compuestos (composites) de Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> mostraron un menor tamaño de cristal, mayor estabilidad térmica y una mayor absorción en el rango visible que el TiO<sub>2</sub> puro.

---

Fuente. Elaboración propia

## Discusión

Después del proceso de recolección de datos, se ha evidenciado que la fotodegradación catalítica de los compuestos orgánicos, es efectiva utilizando dióxido de titanio como catalizador. En este contexto, (Almeida, Fernández, Castro, Villacis, & Espinoza, 2019), indican que la degradación de Aroclor 1254, se alcanzó con TiO<sub>2</sub> irradiado, luego de transcurrido 240 minutos de foto-oxidación, con un 98,36% y 58,92% de efectividad, siendo esta una tecnología viable para dar respuesta al problema de contaminación ocasionada por PCBs.

Cabe acotar que uno de los factores a tomar en cuenta para la efectividad del proceso es el tiempo, haciendo referencia los autores (Muñoz & Palomino, 2019), quienes afirmaron que el tiempo de tratamiento influye significativamente en la reducción de demanda química de oxígeno (DQO) y la interacción concentración del TiO<sub>2</sub>. Por su parte (Arce, Machuca, & Mueses, 2019), señalan los efectos de concentración inicial de sustrato y carga de catalizador TiO<sub>2</sub>-P25 y manifiestan que La concentración inicial del sustrato y la carga de catalizador afectan favorablemente el proceso, todo esto confirmado por los porcentajes de efectividad de entre 60% y 90%.

Asimismo, (Valero, 2018), ofrece la síntesis de tres nuevos fotocatalizadores de dióxido de titanio para la fotodegradación de los compuestos orgánicos fenol y el 2-fenilfenol, siendo el SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub> (anatasa), el que ofrece mejores resultados, tras tres horas de irradiación.

El trabajo presentado por (Cruz, Díaz, Cortés, & Múzquiz, 2017), da cuenta de la presencia de sulfatos para mejorar la efectividad de los catalizadores de TiO<sub>2</sub>, proporcionando estabilidad al catalizador, selectividad y rendimiento de la reacción. De manera similar la investigación de (López, Almanza, Acosta, & Suárez, 2016), revela que los materiales constituidos por Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>, mostraron una mayor estabilidad térmica y una mayor absorción en el rango visible, si se compara con el TiO<sub>2</sub> puro o sin combinar.

De manera significativa, estos trabajos dejan entrever la mejora de las características fotocatalítica del TiO<sub>2</sub>, como una forma de elevar la efectividad catódica de este compuesto, para ser usado en los procesos de fotodegradación de sustancias orgánicas nocivas para el medio ambiente.

## Conclusión

Se concluye que el óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), es uno de los semiconductores más investigado dentro de los procesos de oxidación avanzada, debido a sus propiedades fotoconductoras y fotocatalíticas que lo convierten en uno de los óxidos de mayor impacto en la degradación de compuestos orgánicos volátiles (COV's).

La degradación fotocatalítica de los compuestos orgánicos volátiles (COV's), a través de fotocatalizadores de óxido de titanio, se ha constituido en una alternativa viable y eficaz, que permite minimizar el grado de toxicidad de estas sustancias presentes en el ambiente.

La necesidad de preservar el medio ambiente, es un hecho de gran importancia, por tanto, las nuevas investigaciones deben apuntar a la eliminación de las fuentes principales causantes de daño y la fotodegradación catalítica constituye un claro ejemplo de tecnología sostenible, como ha sido señalado en la literatura evaluada

## Referencias

1. Almeida, G., Fernández, L., Castro, R., Villacis, W., & Espinoza, P. (2019). Degradación fotocatalítica de Aroclor 1254 utilizando dióxido de titanio irradiado con haz de electrones acelerados. *Infoanalítica* 7 (2) , 11-124.
2. Arce, A., Machuca, F., & Mueses, M. (2019). Degradación Fotocatalítica Solar Heterogénea de Ácido Dicloroacético en un Reactor Placa Plana a Escala Piloto. *Información Tecnológica*. Vol. 30(1), 33-40. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100033>, pp. 33-40.
3. Cámara, R. (2012). Inmovilización de TiO<sub>2</sub> sobre polímeros transparentes en el UV-A para la eliminación fotocatalítica de tricloroetileno en el aire. . Universidad Politécnica de Madrid. Tesis Doctoral, 182.

4. Carbajo, J., & Otros. (2016). Study of application of titania catalysts on solar photocatalysis: Influence of type of pollutants and water matrices. *Chem. Eng. J.*, 291. doi:10.1016/j.cej.2016.01.092,, pp. 64-73.
5. Cruz, B., Díaz, L., Cortés, D., & Múzquiz, E. (2017). Catalizadores de TiO<sub>2</sub> utilizados en procesos Claus: Causas de desactivación y actividad catalítica. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 16, núm. 1. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62049878022>, pp. 229-236.
6. Fernández, C. (2015). Actividad de Fotocatalizadores basados en TiO<sub>2</sub> y su aplicación en la eliminación de Fenoles y pesticidas presentes en las aguas. Universidad de las Palmas de gran Canarias. Tesis Doctoral, 346.
7. Herrmann, J. (2005). Heterogeneous photocatalysis: state of the art and present applications. *Topics in Catalysis*, 34 (1), pp. 1-16.
8. Jalvo, B. (2017). Eficacia Antimicrobiana y de Auto-limpieza de Superficies Funcionalizadas con Nanopartículas Fotocatalíticas de Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>). Universidad de Alcalá. España.
9. Jiménez, J. (2011). Estudio de fotocatalizadores preparados por el método sol-gel en la destrucción de pesticidas con luz solar. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. UJAT, México. Tesis., 180.
10. López, A., Almanza, O., Acosta, M., & Suárez, A. (2016). Degradación Fotocatalítica de Contaminantes Orgánicos Presentes en Agua Residual de la Industria Litográfica mediante Oxido de Bismuto(III)/Oxido de Titanio (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>). *Información Tecnológica*. Vol. 27(1), doi: 10.4067/S0718-07642016000100016, 147-158.
11. Muñoz, Y., & Palomino, S. (2019). Influencia de la concentración de TiO<sub>2</sub> y tiempo de tratamiento en la degradación de las aguas residuales de camal por fotocatalisis heterogénea. Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Tesis de fin de grado, 111.
12. Romero, D. (2013). Desarrollo de Fotocatalizadores TiO<sub>2</sub> Dopados con Tierras Raras y su Aplicación en la Oxidación de  $\alpha$ -Metiltestosterona. Centro de Investigación en Materiales Avanzados. S.C. Chihuahua, México. Tesis Doctoral, 123.
13. Sánchez, C., & Otros. (2007). Caracterización y modelación molecular de la fotodegradación catalítica con TiO<sub>2</sub> del Clorobenceno. *Politécnica No. 5*, pp. 61 - 75.

14. Sillanpää, M., Ncibi, M., & Matilainen, A. (2018). Advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter from drinking water sources : A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*, 208, doi:10.1016/j.jenvman.2017.12.009,.
15. Solis, C. (2019). Degradación fotocatalítica de un compuesto orgánico volátil en un reactor anular con una película de TiO<sub>2</sub> dopado con Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Universidad Veracruzana. México. <https://www.uv.mx/pozarica/uv-ca-464/csm2019/>, 223.
16. Valero, M. (2018). Desarrollo de nuevos fotocatalizadores de dióxido de titanio para la fotodegradación de contaminantes en aguas utilizadas para el tratamiento postcosecha de frutas. Universidad Politécnica de Valencia. España. Trabajo de fin de Grado., 141.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).