



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1195>

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de revisión

*Degradación de pesticidas organoclorados mediante la aplicación de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> y sus posibles aplicaciones*

*Degradation of organochlorine pesticides through the application of TiO<sub>2</sub> nanoparticles and their possible applications*

*Degradação de pesticidas organoclorados através da aplicação de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> e suas possíveis aplicações*

William Xavier Ibáñez-Moreno<sup>I</sup>  
[william.ibaniez@epoch.edu.ec](mailto:william.ibaniez@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-6488-1121>

Jessica Paola Arcos-Logroño<sup>II</sup>  
[paola.arcos@epoch.edu.ec](mailto:paola.arcos@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9462-2219>

Patricio Vladimir Méndez-Zambrano<sup>III</sup>  
[patricio.mendez@epoch.edu.ec](mailto:patricio.mendez@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-4305-8152>

**Correspondencia:** [william.ibaniez@epoch.edu.ec](mailto:william.ibaniez@epoch.edu.ec)

**\*Recibido:** 27 de febrero de 2020 **\*Aceptado:** 25 de marzo de 2020 **\* Publicado:** 30 de abril de 2020

- I. Máster Universitario en Química Industrial e Introducción a la Investigación Química, Ingeniero Químico, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- II. Máster Universitario en Ciencias Agro-ambientales y Agro-alimentarias, Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- III. Magíster en Gestión Ambiental, Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.

## Resumen

La presente revisión bibliográfica tuvo como objetivo investigar la degradación de pesticidas organoclorados mediante la aplicación de nanopartículas de TiO<sub>2</sub>, a través del cual se identificó a los pesticidas organoclorados como los principales contaminantes persistentes en los cuerpos de agua, en el Ecuador el uso de insumos químicos corresponde al 50.7% en cultivos permanentes y 81.4% en cultivos y transitorios, los residuos generados por éstos insumos al ser considerados COPs se mantendrán en el ambiente por largos periodos de tiempo. Los procesos de oxidación avanzada se muestran como técnicas viables para la degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, particularmente se puede considerar a la fotocatalisis heterogénea con el uso de nanopartículas de dióxido de titanio como una alternativa viable para el tratamiento de aguas crudas y aguas residuales, debido a su capacidad para mineralizar a los contaminantes orgánicos, reducir metales pesados y destruir microorganismos.

**Palabras claves:** Nanopartículas; contaminantes orgánicos persistentes; dióxido de titanio; fotocatalisis heterogénea.

## Abstract

The main objective of this bibliographic review was to investigate organochlorine pesticides degradation by application of TiO<sub>2</sub> nanoparticles, in this study, organochlorine pesticides were identified as the main persistent pollutants in water bodies. In Ecuador 50.7% of permanent crops and 81.4% of transients crops use agrochemicals (includes organochlorine pesticides) which generate persistent residues stay in the environment for long periods of time. Advanced oxidation processes are found as workable techniques for degradation of organic and inorganic pollutants; in particular, raw water and wastewater treatment by heterogeneous photocatalysis with the use of titanium dioxide nanoparticles is a viable technique, due to its ability to mineralize organic pollutants, reduce heavy metals, and destroy microorganisms.

**Keywords:** Nanoparticles; persistent organic pollutants; titanium dioxide; heterogeneous photocatalysis.

## Resumo

A presente revisão bibliográfica teve como objetivo investigar a degradação de pesticidas organoclorados através da aplicação de nanopartículas de TiO<sub>2</sub>, através das quais os pesticidas organoclorados foram identificados como os principais poluentes persistentes em corpos d'água, no Equador, o uso de insumos químicos corresponde a 50,7% em lavouras permanentes e 81,4% em lavouras e transientes, os resíduos gerados por esses insumos quando considerados POPs permanecerão no ambiente por longos períodos de tempo. Processos avançados de oxidação são mostrados como técnicas viáveis para a degradação de poluentes orgânicos e inorgânicos, particularmente a fotocatalise heterogênea com o uso de nanopartículas de dióxido de titânio, que pode ser considerada uma alternativa viável para o tratamento de água bruta e efluente, Devido à sua capacidade de mineralizar poluentes orgânicos, reduzir metais pesados e destruir microorganismos.

**Palavras-Chave:** Nanopartículas; poluentes orgânicos persistentes; dióxido de titânio; fotocatalise heterogênea.

## Introducción

La organización mundial de la salud (*OMS*) define a los contaminantes orgánicos persistentes (*COPs*) como productos químicos de interés mundial por su capacidad de transportarse a través de grandes distancias, estabilidad en los sistemas naturales y su capacidad para bioacumularse en los tejidos grasos de los organismos vivos (Length, 2007), provocando alteraciones a la salud humana y al ambiente (Stephen, 2019).

Las propiedades físicoquímicas de los contaminantes permiten determinar si son bioacumulables o no, así, aquellos que presentan baja solubilidad en agua tienden a acumularse en los suelos y los tejidos lipídicos de los organismos vivos (Walker, 2009); otro indicador importante es el coeficiente de reparto octanol agua, un valor alto de este indicador; es característicos de compuestos hidrofóbicos y una valor bajo caracteriza a los compuestos hidrofílicos (Leo, Hansch, Elkins, Law, & Behavior, 1971).

Entre los contaminantes orgánicos persistentes “COPs”, los más importantes son los pesticidas organoclorados (Iwata, Tanabe, Sakal, & Tatsukawa, 2000). Siendo el “endosulfan y sus derivados uno de los más utilizados, debido a su fácil aplicación y bajo costo. En algunos países de la Unión

Europea se ha prohibido su uso, sin embargo, en los países en vías de desarrollo aún se mantiene en vigencia (Rosales, Barrera, & Bryan, 2019). A través de la Resolución No 178 publicado en el Registro Oficial No 594 con fecha 12 de diciembre de 2011, Ecuador determinó la eliminación del “endosulfan” y sus mezclas de la lista de plaguicidas registrados (AGROCALIDAD, 2011).

Los pesticidas organoclorados al igual que otros categorizados como COPs, presentan tiempos de vida relativamente largos en los sistemas naturales, presentando resistencia a los procesos naturales de oxidación o biodegradación (Zacharia, 2019). Sin embargo, se han desarrollado técnicas como los procesos de oxidación avanzada (POA) que permiten su mineralización completa. (Gálvez et al., 1985). Los procesos de oxidación avanzada, especialmente la fotocátalisis heterogénea, son técnicas poco selectivas, útiles para el tratamiento de mezclas complejas de contaminantes que pueden estar presentes en las aguas crudas y residuales. Además, las últimas investigaciones se han orientado hacia el aprovechamiento de la luz solar como fuente de energía, convirtiéndolos en tecnologías sostenibles y amigables con el ambiente (Gálvez et al., 1985).

### **Contaminantes orgánicos persistentes**

#### **Generalidades**

Se define como contaminantes orgánicos persistentes “COPs” aquellos compuestos químicos que se mantienen en el ambiente por largos periodos de tiempo y pueden ser transportados fácilmente a través del aire, agua, tierra y sedimentos; debido a que son resistentes a la degradación a través de medios químicos, biológicos y fotolíticos (Buccini, 2003). Además, los COPs tienen la capacidad de acumularse en el tejido adiposo de las especies que componen la cadena alimenticia y son tóxicos para la salud humana y el ambiente (Henao, 2001).

#### **Tipos de contaminantes orgánicos persistentes**

Los COPs pueden ser de origen natural u origen antropogénico, siendo éstos últimos compuestos producidos intencionalmente con fines industriales o agrícolas. Los COPs antropogénicos que requieren atención prioritaria son: DDT, Aldrin, Clordano, Dieldrin, Endrin, Heptacloro, Hexaclorobenceno, Mirex, Toxafeno; y sustancias química industriales entre las que tenemos: Bifenilos policlorados, Furanos y Dioxinas. Muchas de estas sustancias, en el proceso de degradación natural generan subproductos que al igual que sus precursores son considerados productos tóxicos resistentes a la degradación fotolítica, química y biológica (Fiedler, 2000).

#### **Características de los contaminantes orgánicos persistentes**

El comportamiento de los COPs en el ambiente depende de las características físicas y químicas de los mismos, así como de la naturaleza del ambiente en el que se encuentra. Las propiedades físico-químicas vienen determinadas por la estructura química de las sustancias; permitiendo que dichos contaminantes se puedan encontrar en fase vapor o puedan ser adsorbidos en las partículas atmosféricas, lo que permite tener un alto rango de transporte a través de la atmósfera. Otra de las características importantes es su alta solubilidad en solventes orgánicos favoreciendo la bioacumulación en los tejidos orgánicos (tejidos grasos) (El-shahawi, Hamza, Bashammakh, & Al-saggaf, 2010). Los COPs presentes en la atmósfera tienen baja solubilidad en agua, sin embargo, se pueden transferir a la superficie terrestre a través de la deposición en cenizas y otras sustancias que son capaces de ser absorbidas por la lluvia (Weinberg, 2009; Xu, Wang, & Cai, 2013).

Es difícil comprender el comportamiento de los COPs por varias razones, una de principales es que se pueden encontrar en diferentes medios y en diferentes proporciones, además, se pueden transferir de un medio a otro a través de procesos reversibles; su relativa estabilidad en la naturaleza hace que éstos se encuentren bien distribuidos en el ambiente; son difíciles de medir en el ambiente; y no se conocen datos confiables sobre las fuentes de emisión (los datos que se poseen están sujetos a un alta incertidumbre) (Eljarrat & Barcelo, 2003; Scheringer, 2002).

### **Toxicidad de los COPs**

La toxicidad de los COPs es compleja y específica de cada compuesto, un compuesto puede exhibir diferente comportamiento en función de varios factores que se deben considerar como son: la composición o mezcla comercial, la especie animal (humanos), el sexo y la edad de la especie, la ruta y el tiempo de exposición al contaminante (Safe, 2000).

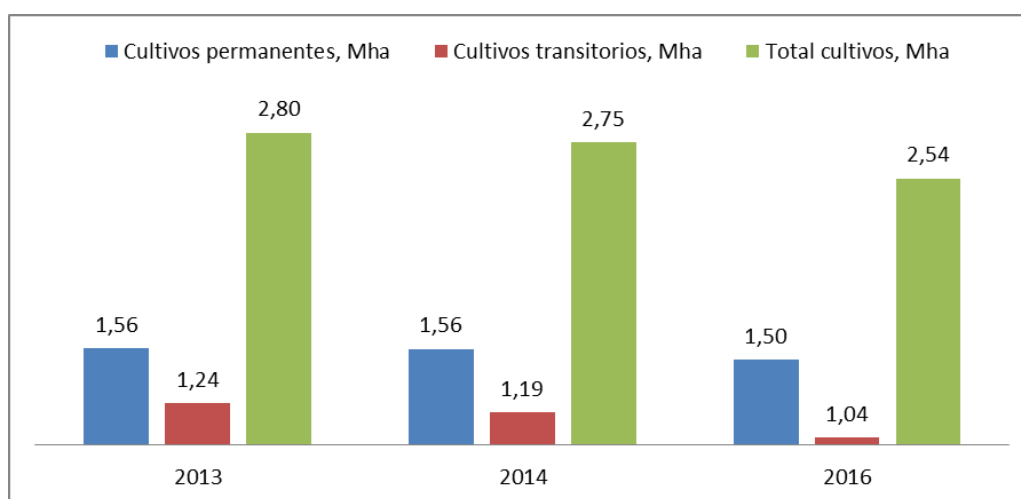
En las urbes la situación se vuelve más complicada debido a la presencia de otro tipo de contaminantes, los cuales pueden encontrarse en concentraciones relativamente altas, provocando una mayor degradación del ambiente. Existe evidencia que la concentración de COPs y metales pesados en la biota acuática, incrementa a medida que se acercan a las ciudades; lo que provoca anomalías subletales y problemas reproductivos en una gran variedad de peces y especies de invertebrados (Hodge & Diamond, 2009).

Una gran cantidad de COPs se han relacionado con alteraciones en el normal funcionamiento del sistema endócrino y reproductivo en humanos y en diferentes especies animales. Debido a que pueden pasar décadas en los sistemas orgánicos se han relacionado con problemas como cáncer,

defectos en el nacimiento, problemas inmunológicos, conductual, neurológicos, entre otros (Corsolini, Ademollo, Romeo, Greco, & Focardi, 2005).

### Uso de agroquímicos en el Ecuador

En el Ecuador según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) entre el 2013 y 2016 el área de tierra cultivada (considerándose únicamente el área utilizada para cultivos permanentes y transitorios) ha disminuido desde 2803891 ha en 2013 hasta 2539351 ha en 2016, lo que indica una reducción del 9,4% en el área agrícola.

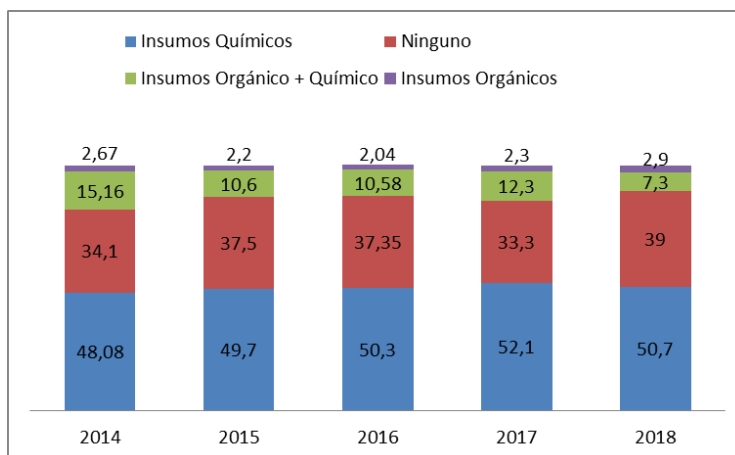


Gráfica 1: Evolución: área de tierra cultivada en Ecuador, Mha

Fuente: INEC- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2013 -2016

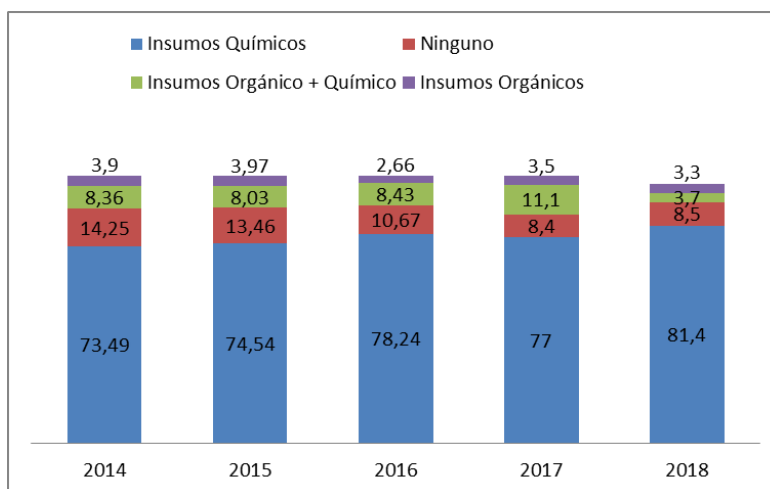
En cuanto al uso de agroquímicos (*fertilizantes y plaguicidas*) en cultivos permanentes incrementa desde 48.08% en 2014 hasta el 50.07% en 2018; mientras que en los cultivos transitorios el incremento va del 73.49% al 81.40%. Además, para el uso de agro-insumos orgánicos tanto en cultivos permanentes como en transitorios no se logra superar el 4% (INEC, 2016, 2020).

Degradación de pesticidas organoclorados mediante la aplicación de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> y sus posibles aplicaciones



**Gráfica 2:** Superficie de cultivos permanentes donde se ha usado insumos para la producción (porcentaje)

**Fuente:** INEC- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2014 - 2018



**Gráfica 3:** Superficie de cultivos transitorios donde se ha usado insumos para la producción (porcentaje)

**Fuente:** INEC- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2014 - 2018

En 2014 el uso de plaguicidas químicos en cultivos permanentes correspondía al 53.57% de hectáreas que reportaron uso de plaguicidas, mientras que este porcentaje asciende hasta 77.75% en cultivos transitorios. De éstos el 21.69% corresponde al uso de insecticidas, 33.63% a fungicidas y el 38.14% a herbicidas. En cuanto al grado de toxicidad del plaguicida utilizado (según clasificación establecida por la Organización Mundial de la Salud) en los cultivos permanentes (banano, cacao, caña de azúcar, palma africana y otros) menos del 10% son de carácter extremadamente tóxico, mientras que el 45% corresponde al uso de plaguicidas altamente tóxicos; para los cultivos transitorios, en el caso del arroz y de la soya, el uso de plaguicidas extremadamente

tóxicos asciende hasta el 19.21% y el 18.82% respectivamente, en tanto que el uso de plaguicidas tóxicos para los mismos cultivos alcanza el 38.06% y el 40.59% (INEC, 2014).

Según la ESPAC 2016, en Ecuador, en ese año, el uso de agroquímicos extremadamente tóxicos para los cultivos permanentes se ubica en el 4.49% para herbicidas, 3.29% para insecticidas, 2.24% para fungicidas y 26.45% para otros plaguicidas; mientras que el uso de productos altamente tóxicos llega a 26.12% en herbicidas, 33.72% en insecticidas, 21.28% en fungicidas y 20.25% en otros plaguicidas. En el caso de los cultivos transitorios el máximo uso de productos extremadamente tóxicos corresponde al uso de otros plaguicidas (9.19%) y el máximo uso de productos altamente tóxicos corresponde al uso de insecticidas (33.25%).

### **Procesos de oxidación avanzada**

En las últimas décadas los procesos de oxidación avanzada (POA) han cobrado particular interés como técnicas efectivas para la remediación ambiental, debido a su capacidad para degradar contaminantes orgánicos persistentes (Poulios, 2007). Además, han demostrado ser útiles en el tratamiento de contaminantes ambientales debido a su capacidad para degradar completamente una gran gama de contaminantes orgánicos, oxidar metales pesados y destruir microorganismos (Khodadadi, Zolfani, Yazdani, & Zavadskas, 2017; Mahlambi, Ngila, & Mamba, 2015). Los procesos de oxidación avanzada aprovechan el poder oxidante de los radicales hidroxilos generando subproductos no contaminantes principalmente agua y dióxido de carbono (Sharma et al., 2012).

Entre las principales técnicas de los POA se puede considerar la fotocatalisis homogénea y heterogénea, electrólisis, ozonización, fenton reacciones, oxidación húmeda, oxidación con agua supercrítica, ionización, radiación, microondas y pulsos de plasma (Mantzavinos, 2008).

Los POA han sido ampliamente utilizados en los procesos de tratamiento de aguas crudas y residuales tales como tratamiento de aguas subterráneas, aguas residuales municipales, tratamiento de contaminantes orgánicos volátiles, producción de agua ultrapura y control de olor. Dentro del campo de tratamiento de aguas residuales éstos procesos han demostrado tener efectividad en el tratamiento de aguas provenientes de diversos sectores como son: efluentes industriales, destilerías, agroquímicos, industria papelera, colorantes textiles, galvanizado, efluentes peligrosos provenientes de hospitales, remoción de patógenos, residuos farmacéuticos, remoción de pesticidas, metales pesados, entre otros (Arslan-Alaton, 2007; Badawy, Ghaly, & Gad-allah, 2006;

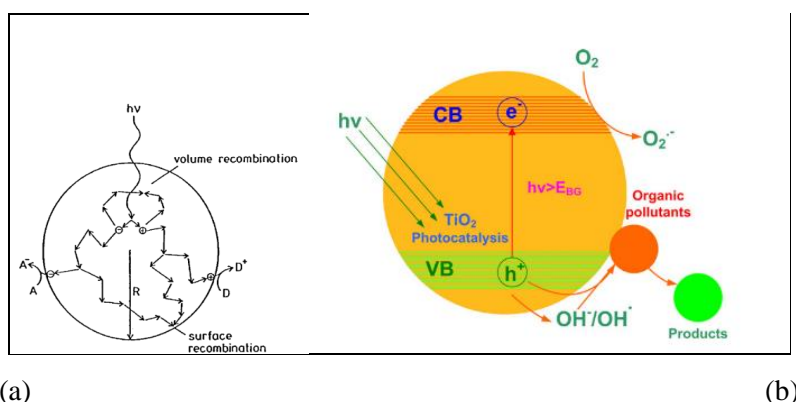


Comninellis et al., 2008; Djebbar, Zertal, Debbache, & Sehili, 2008; Saritha, Aparna, Himabindu, & Anjaneyulu, 2007).

### **Fotocatálisis heterogénea en el tratamiento de aguas**

La fotocatalisis heterogénea es una técnica que involucra la fotoquímica con la catálisis, lo que implica que es necesario el uso de luz y de un catalizador, para que una reacción química se acelere o se produzca (Chen, Sivakumar, & Ray, 2000). Los catalizadores utilizados son materiales semiconductores (calcogenuros: óxidos y sulfuros) con la capacidad de absorber los fotones provenientes de una fuente de luz, tales como TiO<sub>2</sub>, ZnO, CeO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, SbO<sub>4</sub>, CdS, ZnS, entre otros; en la actualidad se han estudiado ampliamente estructuras anisotrópicas (nanotubos, nanorods, nanocables y nanocintas) de dichos compuestos, debido a que presentan mayor área superficial que las estructuras esféricas (Gómez, 2006; Teoh & Scott, 2012).

Cuando los fotones son absorbidos por el material semiconductor se genera un par electrón-hueco, los mismos que se ven involucrados en dos tipos de reacciones subsecuentes: a) recombinación de los electrones y los huecos liberando energía en forma de calor y b) reaccionando con un donador o un aceptor de electrones dando como resultado reacciones de oxidación y reducción en la superficie del catalizador; la concentración de los pares electrón-hueco depende de la intensidad de la luz absorbida y las características eléctricas del material semiconductor, las mismas que previenen su recombinación (Chen et al., 2000; Ibadon & Fitzpatrick, 2013; Serpone, Horikoshi, & Emeline, 2010).



**Figura 1:** (a) Destino del par electrón-hueco en una partícula esférica de dióxido de titanio en presencia del aceptador (A) y (D) moléculas.

**Fuente:** Herrmann, J. (1999). Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. 53, 115–129.

(b) Mecanismo simplificado de la destrucción oxidativa de un contaminante orgánico sobre la superficie de NP- $\text{TiO}_2$  en presencia de oxígeno.

**Fuente:** Sharma, V. K. *et al.* (2012). Destruction of microcystins by conventional and advanced oxidation processes: A review q. Separation and Purification Technology, 91, 3–17.

La fotocatalisis heterogénea combina simultáneamente reacciones de oxidación y reducción, las mismas que provocan la mineralización de contaminantes orgánicos y la reducción de metales presentes en los efluentes (Shen, Wu, Ching, & Yang, 2011).

En el tratamiento de aguas (crudas o residuales) la fotocatalisis heterogénea es útil para la degradación de aniones inorgánicos, oxidándolos en sustancias menos peligrosas; la recuperación de metales pesados que causan toxicidad en las aguas; la mineralización de contaminantes orgánicos transformándolos en  $\text{CO}_2$ ; y la desinfección, debido a su actividad bactericida (Fujishima, Zhang, & Tryk, 2007; Herrmann, 1999, 2005; Herrmann, Guillard, & Pichat, 1993).

Los compuestos organoclorados, considerados contaminantes orgánicos persistentes, son susceptibles de ser degradados a través de los POA (en este caso fotocatalisis heterogénea). El porcentaje de remoción de los contaminantes organoclorados a través de esta técnica depende de diversos factores como: el tipo de catalizador, la fuente de luz utilizada, la concentración del catalizador, la concentración, tipo y mezcla de contaminantes, factores físicoquímico del efluente, entre otros (Horikoshi, Kajitani, Sato, & Serpone, 2007; Serpone *et al.*, 2010; Zacharia, 2019). Algunos estudios muestran que a través de la fotocatalisis heterogénea se puede remover hasta el

95% de Aldrín (Kusvuran & Erbatur, 2004), 78% de Diuron (Oturán, Oturán, Edelahe, Podvornica, & El, 2011), 80% de Endosulfán y hasta el 92% de Lindano (Begum & Agnihotri, 2014).

### **Nanopartículas de dióxido de titanio en la degradación de contaminantes orgánicos**

#### **Nanopartículas de dióxido de titanio $\text{TiO}_2$ (NP- $\text{TiO}_2$ )**

Las partículas finas de óxidos de metal han sido estudiadas por su interés industrial en aplicaciones como catalizadores, aditivos en pigmentos, cerámicas, etc. Las partículas ultra-finas son conocidas como nanopartículas, el tamaño nanométrico de estas partículas incrementa significativamente el ratio área superficial/volumen, incrementando así el número de átomos en la superficie de la partícula (Kim & Kim, 2002). Las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  han sido muy investigadas en las últimas décadas debido a su estabilidad y bajo precio, resultando en una buena caracterización de las mismas. Se conocen diferentes estructuras cristalinas del  $\text{TiO}_2$ , estas diferentes estructuras son las responsables del comportamiento físico-químico de las nanopartículas (Egerton & Tooley, 2014; Kiarri, Govender, & Ndungu, 2018; Liu, Hong, & Guo, 2005; Naicker, Cummings, Zhang, & Banfield, 2005; Zhu, Pathakoti, & Hwang, 2019).

Recientes estudios se han concentrado en mejorar la actividad óptica de las nanopartículas de dióxido de titanio, ya que tienen un gap relativamente amplio y absorben luz por debajo de los 387 nm (*zona UV*) lo que les permite aprovechar únicamente entre el 3-4% de la energía solar que incide sobre la superficie terrestre (Anpo, 2000). Se consigue mejorar sus propiedades electrónicas a través de la combinación con otros materiales que presenten actividades óptica y eléctrica superior (Lokeren et al., 2007; Lucas, Hook, McDonagh, & Colbran, 2005; Moustakas et al., 2013).

### **Degradación de contaminantes orgánicos en el tratamiento de aguas y aguas residuales a través de nanopartículas de $\text{TiO}_2$**

En el tratamiento de aguas se ha extendido el uso de NP- $\text{TiO}_2$ , muchos estudios han demostrado su efectividad en la mineralización de contaminantes orgánicos presentes en matrices acuosas. La efectividad de los procedimientos varía en función de las características de las aguas a tratar, el sistema seleccionado, condiciones de operación, fines de uso del agua, entre otros (Ljubas, Smoljanić, & Juretić, 2015; Martínez, Canle, Fernández, Santaballa, & Faria, 2011; Rico-oller et al., 2015). Así, en varios estudios se ha indicado que el pH juega un rol importante en la degradación de pesticidas orgánicos, de forma general, se evidencia mayor efectividad de degradación a pH bajos, además, en la zona ácida del pH se han evidenciado la aparición de

subproductos menos tóxicos para el ambiente (Nickheslat, Amin, Izanloo, Fatehizadeh, & Mousavi, 2013).

Otro factor relevante es la concentración inicial del contaminante y el tiempo de exposición a la fuente de luz. A medida que se incrementa la concentración inicial del contaminante el tiempo de degradación aumenta, ya que se altera la cinética de la reacción química. Incluso cuando las concentraciones son muy elevadas no se logra una mineralización completa de los contaminantes, sin embargo, se los puede transformar hasta compuestos menos complejos que son susceptibles de degradación biológica (Vidal & Sánchez, 1994; Wang, Guo, Yang, Junji, & Deng, 2009).

La efectividad de la degradación también depende del tipo y mezcla de contaminantes presentes, así como la presencia de aniones inorgánicos; en el caso de las mezclas de contaminantes orgánicos, se ha de mostrado que el proceso de mineralización no es selectivo, sin embargo, factores como el pH o la concentración de catalizador pueden modificar la selectividad del proceso; en cuanto a la presencia de aniones inorgánicos, muchos de ellos pueden consumir los agentes oxidantes generados empleados para la degradación de los contaminantes orgánicos, incrementando así la demanda de los mismos, lo que impide alcanzar los niveles de mineralización deseada (Oller et al., 2007; Robert, Piscopo, & Weber, 2004).

En la práctica se prefiere utilizar reactores en donde las nanopartículas se encuentren inmovilizadas, a expensas de perder el área superficial de contacto, debido a que los procesos de recuperación del catalizador luego de la descontaminación del agua implican un esfuerzo adicional, sin mencionar que no se logra recuperar el 100% del mismo (Esfandyari, Junin, Nawi, & Abdul, 2015; Mahmoodi, Arami, Limaee, Gharanjig, & Nourmohammadian, 2007).

## Conclusiones

Se identificó a través de varios estudios la factibilidad de mineralizar contaminantes orgánicos mediante la fotocatalisis heterogénea, concentrándose en la degradación de pesticidas organoclorados (categorizados como COPs), los mismos que demuestran altos porcentajes de degradación, en algunos casos superiores al 90%.

Tomando en cuenta la situación actual del Ecuador en relación al uso de insumos químicos corresponde al 50.7% en cultivos permanentes y 81.4% en cultivos y transitorios, los residuos

generados por éstos insumos al ser considerados COPs se mantendrán en el ambiente por largos periodos de tiempo, contaminando los cuerpos de agua. Al ser la fotocatalisis heterogénea una técnica poco selectiva, se infiere que es posible utilizar esta técnica en el tratamiento de aguas contaminadas con pesticidas, que generalmente presentan una mezcla más o menos compleja de contaminantes orgánicos e inorgánicos, dependiendo de su origen.

Se argumenta el uso de nanopartículas de dióxido de titanio para posteriores estudios técnicos, debido a su bajo costos, estabilidad y a que han sido ampliamente estudiadas y caracterizadas, tal como se indica en las secciones anteriores del presente artículo. Los estudios deberían concentrarse en utilizar aquellas nanopartículas capaces de aprovechar la luz del sol y analizar su comportamiento frente a matrices de agua que presenten una mezcla compleja de contaminantes orgánicos (principalmente aquellos derivados de la agricultura) e inorgánicos.

## Referencias

1. AGROCALIDAD. Resolución No. 0178. , (2011).
2. Anpo, M. (2000). Utilization of TiO<sub>2</sub> photocatalysts in green chemistry \*. International Union of Pure and Applied Chemistry, 72(7), 1265–1270.
3. Arslan-Alaton, I. (2007). Degradation of a commercial textile biocide with advanced oxidation processes and ozone. Journal Of Environmental Management, 82, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.12.021>
4. Badawy, M. I., Ghaly, M. Y., & Gad-allah, T. A. (2006). Advanced oxidation processes for the removal of organo- phosphorus pesticides from wastewater. Desalination, 194, 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.09.027>
5. Begum, A., & Agnihotri, P. (2014). Degradation of endosulfan and lindane using Fenton ' s reagent. Applied Water Science. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0237-z>
6. Buccini, J. (2003). The Development of a Global Treaty on Persistent Organic Pollutants ( POPs ). The Handbook of Environmental Chemistry, 3.
7. Chen, D., Sivakumar, M., & Ray, A. K. (2000). Heterogeneous Photocatalysis in Environmental Remediation. Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing, 8, 505–550.

8. Comninellis, C., Kapalka, A., Malato, S., Parsons, S. A., Poullos, I., & Mantzavinos, D. (2008). Advanced oxidation processes for water treatment : advances and trends for R & D. 776(November 2007), 769–776. <https://doi.org/10.1002/jctb>
9. Corsolini, S., Ademollo, N., Romeo, T., Greco, S., & Focardi, S. (2005). Persistent organic pollutants in edible fish : a human and environmental health problem. SCIENCE DIRECT, 79, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2004.10.006>
10. Djebbar, K. E., Zertal, A., Debbache, N., & Sehili, T. (2008). Comparison of Diuron degradation by direct UV photolysis and advanced oxidation processes. 88, 1505–1512. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.07.034>
11. Egerton, T. A., & Tooley, I. R. (2014). Physical characterization of titanium dioxide nanoparticles. International Journal of Cosmetic Science, 1–12. <https://doi.org/10.1111/ics.12113>
12. El-shahawi, M. S., Hamza, A., Bashammakh, A. S., & Al-saggaf, W. T. (2010). An overview on the accumulation , distribution , transformations , toxicity and analytical methods for the monitoring of persistent organic pollutants. Talanta, 80(5), 1587–1597. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.09.055>
13. Eljarrat, E., & Barcelo, D. (2003). Priority lists for persistent organic pollutants and emerging contaminants based on their relative toxic potency in environmental samples. Trends in Analytical Chemistry, 22(10), 655–665. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)01001-X](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)01001-X)
14. Esfandyari, A., Junin, R., Nawi, M., & Abdul, A. (2015). TiO<sub>2</sub> nanoparticle transport and retention through saturated limestone porous media under various ionic strength conditions. CHEMOSPHERE, 134, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.052>
15. Fiedler, H. (2000). Persistent organic pollutants – chemical identity and properties. European Journal of Lipid Science and Technology, 45–60.
16. Fujishima, A., Zhang, X., & Tryk, D. A. (2007). Heterogeneous photocatalysis : From water photolysis to applications in environmental cleanup. International Journal of Hydrogen Energy, 32, 2664–2672. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.09.009>
17. Gálvez, J. B., Rodríguez, S. M., Gasca, C. A. E., Bandala, E. R., Gelover, S., & Leal, T. (1985). PURIFICACIÓN DE AGUAS POR FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA: ESTADO DEL ARTE.

18. Gómez, J. C. (2006). Utilización de nanopartículas en tribología , generación de energía y catálisis. *Técnica Industrial*, 262.
19. Henao, S. (2001). Tratado fundamental para el control y eliminación. *Manejo Integral de Plagas*, (62), 92–95.
20. Herrmann, J. (1999). Heterogeneous photocatalysis : fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. 53, 115–129.
21. Herrmann, J. (2005). Heterogeneous photocatalysis : state of the art and present applications. 34(May). <https://doi.org/10.1007/s11244-005-3788-2>
22. Herrmann, J., Guillard, C., & Pichat, P. (1993). Heterogeneous photocatalysis an emerging technology for water treatment. *Catalysis Today*, 17, 7–20.
23. Hodge, E., & Diamond, M. (2009). Sources , Fate and Effects of Contaminant Emissions in Urban Areas. In S. Harrad (Ed.), *Persistent Organic Pollutants* (1st ed., pp. 171–207). Toronto: Blackwell Publishing Ltd.
24. Horikoshi, S., Kajitani, M., Sato, S., & Serpone, N. (2007). A novel environmental risk-free microwave discharge electrodeless lamp ( MDEL ) in advanced oxidation processes Degradation of the 2 , 4-D herbicide. *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*, 189, 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2007.02.027>
25. Ibadon, A. O., & Fitzpatrick, P. (2013). Heterogeneous Photocatalysis: Recent Advances and Applications. *Catalysts*, 189–218. <https://doi.org/10.3390/catal3010189>
26. INEC. (2014). *Uso y Manejo de Agroquímicos en la Agricultura 2014*.
27. INEC. (2016). *Información Ambiental en la Agricultura 2016*.
28. INEC. (2020). *Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria, Módulo ESPAC 2018*.
29. Iwata, H., Tanabe, S., Sakal, N., & Tatsukawa, R. (2000). Distribution of Persistent Organochlorines in the Oceanic Air and Surface Seawater and the Role of Ocean on Their Global Transport and Fate. *Environmental Science & Technology*, 27(6), 1080–1098.
30. Khodadadi, M. R., Zolfani, S. H., Yazdani, M., & Zavadskas, E. K. (2017). A hybrid MADM analysis in evaluating process of chemical wastewater purification regarding to advance oxidation processes. 6897(October). <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1281140>

31. Kiarii, E. M., Govender, K. K., & Ndungu, P. G. (2018). Recent advances in titanium dioxide / graphene photocatalyst. *Bulletin of Materials Science*, 41(3).
32. Kim, K. Do, & Kim, H. T. (2002). Synthesis of titanium dioxide nanoparticles using a continuous reaction method. *Colloids and Surfaces*, 207, 263–269.
33. Kusvuran, E., & Erbatur, O. (2004). Degradation of aldrin in adsorbed system using advanced oxidation processes : comparison of the treatment methods. *Journal of Hazardous Materials*, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2003.10.004>
34. Length, F. (2007). Concentrations of residues from organochlorine pesticide in water and fish from some rivers in Edo State Nigeria. 2(9), 237–241.
35. Leo, A., Hansch, C., Elkins, D., Law, A. H., & Behavior, B. N. (1971). Partition coefficients and their uses. *Chemical Reviews*, 71(6).
36. Liu, Z., Hong, L., & Guo, B. (2005). Physicochemical and electrochemical characterization of anatase titanium dioxide nanoparticles. *Journal of Power Sources*, 143, 231–235. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2004.11.056>
37. Ljubas, D., Smoljanić, G., & Juretić, H. (2015). Degradation of Methyl Orange and Congo Red dyes by using TiO<sub>2</sub> nanoparticles activated by the solar and the solar-like radiation. *Journal of Environmental Management*, 161, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.042>
38. Lokeren, L. Van, Maheut, G., Ribot, F., Escax, V., Verbruggen, I., Sanchez, C., ... Willem, R. (2007). Characterization of Titanium Dioxide Nanoparticles Dispersed in Organic Ligand Solutions by Using a Diffusion-Ordered Spectroscopy-Based Strategy. 6957–6966. <https://doi.org/10.1002/chem.200601722>
39. Lucas, N. T., Hook, J. M., Mcdonagh, A. M., & Colbran, S. B. (2005). Titanium Dioxide Nanoparticles Functionalized with Pd and W Complexes of a Catecholphosphane Ligand. <https://doi.org/10.1002/ejic.200400584>
40. Mahlambi, M. M., Ngila, C. J., & Mamba, B. B. (2015). Recent Developments in Environmental Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants : The Case of Titanium Dioxide Nanoparticles — A Review. *Journal of Nanomaterials*, 2015.
41. Mahmoodi, N., Arami, M., Limaee, N., Gharanjig, K., & Nourmohammadian, F. (2007). Nanophotocatalysis using immobilized titanium dioxide nanoparticle Degradation and



- mineralization of water containing organic pollutant: Case study of Butachlor. *Materials Research Bulletin*, 42, 797–806. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2006.08.031>
42. Mantzavinos, D. (2008). In Focus: advanced oxidation processes. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1322, 1321–1322. <https://doi.org/10.1002/jctb>
43. Martínez, C., Canle, M. L., Fernández, M. I., Santaballa, J. A., & Faria, J. (2011). Aqueous degradation of diclofenac by heterogeneous photocatalysis using nanostructured materials. *Applied Catalysis B: Environmental*, 107, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2011.07.003>
44. Moustakas, N. G., Kontos, A. G., Likodimos, V., Katsaros, F., Boukos, N., Tsoutsou, D., ... Falaras, P. (2013). Inorganic-organic core-shell titania nanoparticles for efficient visible light activated photocatalysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 130–131, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.10.007>
45. Naicker, P. K., Cummings, P. T., Zhang, H., & Banfield, J. F. (2005). Characterization of Titanium Dioxide Nanoparticles Using Molecular Dynamics Simulations. *Journal of Physical Chemistry*, 15243–15249.
46. Nickheslat, A., Amin, M. M., Izanloo, H., Fatehizadeh, A., & Mousavi, S. M. (2013). Phenol Photocatalytic Degradation by Advanced Oxidation Process under Ultraviolet Radiation Using Titanium Dioxide. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013.
47. Oller, I., Fernández-ibáñez, P., Manuel, I., Pérez-estrada, L., Gernjak, W., Pulgarín, C., ... Malato, S. (2007). Solar heterogeneous and homogeneous photocatalysis as a pre-treatment option for biotreatment. *Research on Chemical Intermediates*, 33(3), 407–420.
48. Oturan, M. A., Oturan, N., Edelahe, M. C., Podvorica, F. I., & El, K. (2011). Oxidative degradation of herbicide diuron in aqueous medium by Fenton's reaction based advanced oxidation processes. *Chemical Engineering Journal*, 171(1), 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.03.072>
49. Poullos, I. (2007). Special issue on “ Environmental applications of advanced oxidation processes .” *Journal of Hazardous Materials*, 146(April), 997785. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.073>
50. Rico-oller, B., Boudjemaa, A., Bahruji, H., Kebir, M., Prashar, S., Bachari, K., ... Gómez-ruiz, S. (2015). Photodegradation of organic pollutants in water and green hydrogen production

- via methanol photoreforming of doped titanium oxide nanoparticles. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.101>
51. Robert, D., Piscopo, A., & Weber, J.-V. (2004). First approach of the selective treatment of water by heterogeneous photocatalysis. *Environmental Chemistry Letters*, 5–8. <https://doi.org/10.1007/s10311-004-0063-x>
  52. Rosales, C., Barrera, C., & Bryan, B. (2019). Dissemination of Endosulfan into the Environment. In *Persistent Organic Pollutants* (pp. 4–16). IntechOpen.
  53. Safe, S. H. (2000). Toxicology of persistent organic. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 52–53.
  54. Saritha, P., Aparna, C., Himabindu, V., & Anjaneyulu, Y. (2007). Comparison of various advanced oxidation processes for the degradation of 4-chloro-2 nitrophenol. 149, 609–614. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.111>
  55. Scheringer, M. (2002). *Persistence and spatial range of environmental chemicals* (1st ed.). Wiley-VCH.
  56. Serpone, N., Horikoshi, S., & Emeline, A. V. (2010). Microwaves in advanced oxidation processes for environmental applications . A brief review. *Journal of Photochemistry & Photobiology, C: Photochemistry Reviews*, 11(2–3), 114–131. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2010.07.003>
  57. Sharma, V. K., Triantis, T. M., Antoniou, M. G., He, X., Pelaez, M., Han, C., ... Dionysiou, D. D. (2012). Destruction of microcystins by conventional and advanced oxidation processes : A review q. *Separation and Purification Technology*, 91, 3–17. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.02.018>
  58. Shen, S., Wu, ta Y., Ching, J., & Yang, C. (2011). Recent developments of metal oxide semiconductors as photocatalysts in advanced oxidation processes ( AOPs ) for treatment of dye wastewater. (April), 1130–1158. <https://doi.org/10.1002/jctb.2636>
  59. Stephen, K. (2019). Introductory Chapter: Persistent Organic Pollutants (POPs). In *Persistent Organic Pollutants*. IntechOpen.
  60. Teoh, W. Y., & Scott, J. A. (2012). Progress in Heterogeneous Photocatalysis : From Classical Radical Chemistry to Engineering Nanomaterials and Solar Reactors. *The Journal of Physical Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1021/jz3000646>

61. Vidal, A., & Sanchez, B. (1994). Heterogeneous photocatalysis: aqueous suspensions degradation of ethylbenzene in TiO<sub>2</sub>. *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*, 79, 213–219.
62. Walker, C. H. (2009). *ORGANIC POLLUTANTS. An Ecotoxicological Perspective* (2da ed.; C. Press, Ed.). New York.
63. Wang, K., Guo, J., Yang, M., Junji, H., & Deng, R. (2009). Decomposition of two haloacetic acids in water using UV radiation, ozone and advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 162, 1243–1248. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.012>
64. Weinberg, P. J. (2009). *Guía para las ONG sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes*. México.
65. Xu, W., Wang, X., & Cai, Z. (2013). Analytical chemistry of the persistent organic pollutants identified in the Stockholm Convention: A review. *Analytica Chimica Acta*, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.04.026>
66. Zacharia, J. T. (2019). Degradation Pathways of Persistent Organic Pollutants (POPs) in the Environment. In *Persistent Organic Pollutants*. IntechOpen.
67. Zhu, X., Pathakoti, K., & Hwang, H. (2019). Green synthesis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles and their usage for antimicrobial applications and environmental remediation. In *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00010-1>

## References

1. AGROCALIDAD. Resolution No. 0178., (2011).
2. Anpo, M. (2000). Utilization of TiO<sub>2</sub> photocatalysts in green chemistry \*. *International Union of Pure and Applied Chemistry*, 72 (7), 1265–1270.
3. Arslan-Alaton, I. (2007). Degradation of a commercial textile biocide with advanced oxidation processes and ozone. *Journal Of Environmental Management*, 82, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.12.021>
4. Badawy, M. I., Ghaly, M. Y., & Gad-allah, T. A. (2006). Advanced oxidation processes for the removal of organo-phosphorus pesticides from wastewater. *Desalination*, 194, 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.09.027>

5. Begum, A., & Agnihotri, P. (2014). Degradation of endosulfan and lindane using Fenton's reagent. *Applied Water Science*. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0237-z>
6. Buccini, J. (2003). The Development of a Global Treaty on Persistent Organic Pollutants (POPs). *The Handbook of Environmental Chemistry*, 3.
7. Chen, D., Sivakumar, M., & Ray, A. K. (2000). Heterogeneous Photocatalysis in Environmental Remediation. *Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing*, 8, 505–550.
8. Comninellis, C., Kapalka, A., Malato, S., Parsons, S. A., Poullos, I., & Mantzavinos, D. (2008). Advanced oxidation processes for water treatment: advances and trends for R & D. 776 (November 2007), 769–776. <https://doi.org/10.1002/jctb>
9. Corsolini, S., Ademollo, N., Romeo, T., Greco, S., & Focardi, S. (2005). Persistent organic pollutants in edible fish: a human and environmental health problem. *SCIENCE DIRECT*, 79, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2004.10.006>
10. Djebbar, K. E., Zertal, A., Debbache, N., & Sehili, T. (2008). Comparison of Diuron degradation by direct UV photolysis and advanced oxidation processes. 88, 1505–1512. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.07.034>
11. Egerton, T. A., & Tooley, I. R. (2014). Physical characterization of titanium dioxide nanoparticles. *International Journal of Cosmetic Science*, 1–12. <https://doi.org/10.1111/ics.12113>
12. El-shahawi, M. S., Hamza, A., Bashammakh, A. S., & Al-saggaf, W. T. (2010). An overview on the accumulation, distribution, transformations, toxicity and analytical methods for the monitoring of persistent organic pollutants. *Talanta*, 80 (5), 1587–1597. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.09.055>
13. Eljarrat, E., & Barcelo, D. (2003). Priority lists for persistent organic pollutants and emerging contaminants based on their relative toxic potency in environmental samples. *Trends in Analytical Chemistry*, 22 (10), 655–665. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)01001-X](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)01001-X)
14. Esfandyari, A., Junin, R., Nawi, M., & Abdul, A. (2015). TiO<sub>2</sub> nanoparticle transport and retention through saturated limestone porous media under various ionic strength conditions. *CHEMOSPHERE*, 134, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.052>

15. Fiedler, H. (2000). Persistent organic pollutants - chemical identity and properties. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 45–60.
16. Fujishima, A., Zhang, X., & Tryk, D. A. (2007). Heterogeneous photocatalysis: From water photolysis to applications in environmental cleanup. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, 2664–2672. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.09.009>
17. Gálvez, J. B., Rodríguez, S. M., Gasca, C. A. E., Bandala, E. R., Gelover, S., & Leal, T. (1985). WATER PURIFICATION BY HETEROGENEOUS PHOTOCATALYSIS: STATE OF THE ART.
18. Gómez, J. C. (2006). Use of nanoparticles in tribology, power generation and catalysis. *Industrial Technique*, 262.
19. Henao, S. (2001). Fundamental treaty for control and elimination. *Comprehensive Pest Management*, (62), 92–95.
20. Herrmann, J. (1999). Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. 53, 115–129.
21. Herrmann, J. (2005). Heterogeneous photocatalysis: state of the art and present applications. 34 (May). <https://doi.org/10.1007/s11244-005-3788-2>
22. Herrmann, J., Guillard, C., & Pichat, P. (1993). Heterogeneous photocatalysis an emerging technology for water treatment. *Catalysis Today*, 17, 7–20.
23. Hodge, E., & Diamond, M. (2009). Sources, Fate and Effects of Contaminant Emissions in Urban Areas. In S. Harrad (Ed.), *Persistent Organic Pollutants* (1st ed., Pp. 171–207). Toronto: Blackwell Publishing Ltd.
24. Horikoshi, S., Kajitani, M., Sato, S., & Serpone, N. (2007). A novel environmental risk-free microwave discharge electrodeless lamp (MDEL) in advanced oxidation processes Degradation of the 2, 4-D herbicide. *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*, 189, 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2007.02.027>
25. Ibadon, A. O., & Fitzpatrick, P. (2013). Heterogeneous Photocatalysis: Recent Advances and Applications. *Catalysts*, 189–218. <https://doi.org/10.3390/catal3010189>
26. INEC. (2014). *Use and Management of Agrochemicals in Agriculture 2014*.
27. INEC. (2016). *Environmental Information in Agriculture 2016*.

28. INEC. (2020). Agro-environmental Information and Agricultural Technification, ESPAC 2018 Module.
29. Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N., & Tatsukawa, R. (2000). Distribution of Persistent Organochlorines in the Oceanic Air and Surface Seawater and the Role of Ocean on Their Global Transport and Fate. *Environmental Science & Technology*, 27 (6), 1080–1098.
30. Khodadadi, M. R., Zolfani, S. H., Yazdani, M., & Zavadskas, E. K. (2017). A hybrid MADM analysis in evaluating process of chemical wastewater purification regarding to advance oxidation processes. 6897 (October). <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1281140>
31. Kiarrii, E. M., Govender, K. K., & Ndungu, P. G. (2018). Recent advances in titanium dioxide / graphene photocatalyst. *Bulletin of Materials Science*, 41 (3).
32. Kim, K. Do, & Kim, H. T. (2002). Synthesis of titanium dioxide nanoparticles using a continuous reaction method. *Colloids and Surfaces*, 207, 263–269.
33. Kusvuran, E., & Erbaturo, O. (2004). Degradation of aldrin in adsorbed system using advanced oxidation processes: comparison of the treatment methods. *Journal of Hazardous Materials*, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2003.10.004>
34. Length, F. (2007). Concentrations of residues from organochlorine pesticide in water and fish from some rivers in Edo State Nigeria. 2 (9), 237–241.
35. Leo, A., Hansch, C., Elkins, D., Law, A. H., & Behavior, B. N. (1971). Partition coefficients and their uses. *Chemical Reviews*, 71 (6).
36. Liu, Z., Hong, L., & Guo, B. (2005). Physicochemical and electrochemical characterization of anatase titanium dioxide nanoparticles. *Journal of Power Sources*, 143, 231–235. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2004.11.056>
37. Ljubas, D., Smoljanić, G., & Juretić, H. (2015). Degradation of Methyl Orange and Congo Red dyes by using TiO<sub>2</sub> nanoparticles activated by the solar and the solar-like radiation. *Journal of Environmental Management*, 161, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.042>
38. Lokeren, L. Van, Maheut, G., Ribot, F., Escax, V., Verbruggen, I., Sanchez, C., ... Willem, R. (2007). Characterization of Titanium Dioxide Nanoparticles Dispersed in Organic Ligand Solutions by Using a Diffusion-Ordered Spectroscopy-Based Strategy. 6957–6966. <https://doi.org/10.1002/chem.200601722>

39. Lucas, N. T., Hook, J. M., Mcdonagh, A. M., & Colbran, S. B. (2005). Titanium Dioxide Nanoparticles Functionalized with Pd and W Complexes of a Catecholphosphane Ligand. <https://doi.org/10.1002/ejic.200400584>
40. Mahlambi, M. M., Ngila, C. J., & Mamba, B. B. (2015). Recent Developments in Environmental Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants: The Case of Titanium Dioxide Nanoparticles - A Review. *Journal of Nanomaterials*, 2015.
41. Mahmoodi, N., Arami, M., Limaee, N., Gharanjig, K., & Nourmohammadian, F. (2007). Nanophotocatalysis using immobilized titanium dioxide nanoparticle Degradation and mineralization of water containing organic pollutant: Case study of Butachlor. *Materials Research Bulletin*, 42, 797–806. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2006.08.031>
42. Mantzavinos, D. (2008). In Focus: advanced oxidation processes. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1322, 1321–1322. <https://doi.org/10.1002/jctb>
43. Martínez, C., Canle, M. L., Fernández, M. I., Santaballa, J. A., & Faria, J. (2011). Aqueous degradation of diclofenac by heterogeneous photocatalysis using nanostructured materials. *Applied Catalysis B: Environmental*, 107, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2011.07.003>
44. Moustakas, N. G., Kontos, A. G., Likodimos, V., Katsaros, F., Boukos, N., Tsoutsou, D., ... Falaras, P. (2013). Inorganic-organic core-shell titania nanoparticles for efficient visible light activated photocatalysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 130–131, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.10.007>
45. Naicker, P. K., Cummings, P. T., Zhang, H., & Banfield, J. F. (2005). Characterization of Titanium Dioxide Nanoparticles Using Molecular Dynamics Simulations. *Journal of Physical Chemistry*, 15243–15249.
46. Nickheslat, A., Amin, M. M., Izanloo, H., Fatehizadeh, A., & Mousavi, S. M. (2013). Phenol Photocatalytic Degradation by Advanced Oxidation Process under Ultraviolet Radiation Using Titanium Dioxide. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013.
47. Oller, I., Fernández-ibáñez, P., Manuel, I., Pérez-estrada, L., Gernjak, W., Pulgarín, C., ... Malato, S. (2007). Solar heterogeneous and homogeneous photocatalysis as a pre-treatment option for biotreatment. *Research on Chemical Intermediates*, 33 (3), 407–420.

48. Oturan, M. A., Oturan, N., Edelahi, M. C., Podvorica, F. I., & El, K. (2011). Oxidative degradation of herbicide diuron in aqueous medium by Fenton's reaction based advanced oxidation processes. *Chemical Engineering Journal*, 171 (1), 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.03.072>
49. Poullos, I. (2007). Special issue on "Environmental applications of advanced oxidation processes." *Journal of Hazardous Materials*, 146 (April), 997785. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.073>
50. Rico-oller, B., Boudjemaa, A., Bahruji, H., Kebir, M., Prashar, S., Bachari, K.,... Gómez-ruiz, S. (2015). Photodegradation of organic pollutants in water and green hydrogen production via methanol photoreforming of doped titanium oxide nanoparticles. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.101>
51. Robert, D., Piscopo, A., & Weber, J.-V. (2004). First approach of the selective treatment of water by heterogeneous photocatalysis. *Environmental Chemistry Letters*, 5–8. <https://doi.org/10.1007/s10311-004-0063-x>
52. Rosales, C., Barrera, C., & Bryan, B. (2019). Dissemination of Endosulfan into the Environment. In *Persistent Organic Pollutants* (pp. 4–16). IntechOpen.
53. Safe, S. H. (2000). Toxicology of persistent organic. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 52–53.
54. Saritha, P., Aparna, C., Himabindu, V., & Anjaneyulu, Y. (2007). Comparison of various advanced oxidation processes for the degradation of 4-chloro-2 nitrophenol. 149, 609–614. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.111>
55. Scheringer, M. (2002). *Persistence and spatial range of environmental chemicals* (1st ed.). Wiley-VCH.
56. Serpone, N., Horikoshi, S., & Emeline, A. V. (2010). Microwaves in advanced oxidation processes for environmental applications. A brief review. *Journal of Photochemistry & Photobiology, C: Photochemistry Reviews*, 11 (2–3), 114–131. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2010.07.003>
57. Sharma, V. K., Triantis, T. M., Antoniou, M. G., He, X., Pelaez, M., Han, C.,... Dionysiou, D. D. (2012). Destruction of microcystins by conventional and advanced oxidation processes:



- A review q. Separation and Purification Technology, 91, 3–17.  
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.02.018>
58. Shen, S., Wu, ta Y., Ching, J., & Yang, C. (2011). Recent developments of metal oxide semiconductors as photocatalysts in advanced oxidation processes (AOPs) for treatment of dye wastewater. (April), 1130–1158. <https://doi.org/10.1002/jctb.2636>
59. Stephen, K. (2019). Introductory Chapter: Persistent Organic Pollutants (POPs). In Persistent Organic Pollutants. IntechOpen.
60. Teoh, W. Y., & Scott, J. A. (2012). Progress in Heterogeneous Photocatalysis: From Classical Radical Chemistry to Engineering Nanomaterials and Solar Reactors. The Journal of Physical Chemistry Letters. <https://doi.org/10.1021/jz3000646>
61. Vidal, A., & Sanchez, B. (1994). Heterogeneous photocatalysis: aqueous suspensions degradation of ethylbenzene in TiO<sub>2</sub>. Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry, 79, 213–219.
62. Walker, C. H. (2009). ORGANIC POLLUTANTS. An Ecotoxicological Perspective (2nd ed .; C. Press, Ed.). New York.
63. Wang, K., Guo, J., Yang, M., Junji, H., & Deng, R. (2009). Decomposition of two haloacetic acids in water using UV radiation, ozone and advanced oxidation processes. Journal of Hazardous Materials, 162, 1243–1248. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.012>
64. Weinberg, P. J. (2009). NGO Guide to Persistent Organic Pollutants. Mexico.
65. Xu, W., Wang, X., & Cai, Z. (2013). Analytical chemistry of the persistent organic pollutants identified in the Stockholm Convention: A review. Analytica Chimica Acta, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.04.026>
66. Zacharia, J. T. (2019). Degradation Pathways of Persistent Organic Pollutants (POPs) in the Environment. In Persistent Organic Pollutants. IntechOpen.
67. Zhu, X., Pathakoti, K., & Hwang, H. (2019). Green synthesis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles and their usage for antimicrobial applications and environmental remediation. In Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00010-1>

## Referências

1. AGROCALIDAD. Resolución n° 0178., (2011).
2. Anpo, M. (2000). Utilización de fotocatalisadores de TiO<sub>2</sub> na química verde \*. *União Internacional de Química Pura e Aplicada*, 72 (7), 1265-1270.
3. Arslan-Alaton, I. (2007). Degradación de um biocida têxtil comercial com processos avançados de oxidação e ozônio. *Journal Of Environmental Management*, 82, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.12.021>
4. Badawy, M. I., Ghaly, M. Y., & Gad-allah, T. A. (2006). Processos avançados de oxidação para a remoção de pesticidas organofosforados das águas residuais. *Dessalinização*, 194, 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.09.027>
5. Begum, A. & Agnihotri, P. (2014). Degradación de endossulfão e lindano usando o reagente de Fenton. *Ciência da Água Aplicada*. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0237-z>
6. Buccini, J. (2003). O desenvolvimento de um Tratado Global sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). *O Manual de Química Ambiental*, 3.
7. Chen, D., Sivakumar, M., & Ray, A. K. (2000). Fotocatálise heterogênea em remediação ambiental. *Desenvolvimentos em Engenharia Química e Processamento Mineral*, 8, 505-550.
8. Comninellis, C., Kapalka, A., Malato, S., Parsons, S. A., Poullos, I., & Mantzavinos, D. (2008). Processos avançados de oxidação para tratamento de água: avanços e tendências para pesquisa e desenvolvimento. 776 (novembro de 2007), 769-776. <https://doi.org/10.1002/jctb>
9. Corsolini, S., Ademollo, N., Romeo, T., Greco, S. e Focardi, S. (2005). Poluentes orgânicos persistentes em peixes comestíveis: um problema de saúde humana e ambiental. *SCIENCE DIRECT*, 79, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2004.10.006>
10. Djebbar, K.E., Zertal, A., Debbache, N., & Sehili, T. (2008). Comparação da degradação de Diuron por fotólise direta por UV e processos avançados de oxidação. 88, 1505-1512. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.07.034>
11. Egerton, T. A. & Tooley, I. R. (2014). Caracterização física de nanopartículas de dióxido de titânio. *International Journal of Cosmetic Science*, 1–12. <https://doi.org/10.1111/ics.12113>
12. El-shahawi, M. S., Hamza, A., Bashammakh, A. S. e Al-saggaf, W. T. (2010). Uma visão geral sobre a acumulação, distribuição, transformações, toxicidade e métodos analíticos para o

- monitoramento de poluentes orgânicos persistentes. *Talanta*, 80 (5), 1587-1597. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.09.055>
13. Eljarrat, E. & Barcelo, D. (2003). Listas de prioridades para poluentes orgânicos persistentes e contaminantes emergentes com base em sua potência tóxica relativa em amostras ambientais. *Trends in Analytical Chemistry*, 22 (10), 655-665. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)01001-X](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)01001-X)
  14. Esfandyari, A., Junin, R., Nawi, M. e Abdul, A. (2015). Transporte e retenção de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> através de meios porosos de calcário saturado sob várias condições de força iônica. *QUEMOSFERA*, 134, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.052>
  15. Fiedler, H. (2000). Poluentes orgânicos persistentes - identidade e propriedades químicas. *Jornal Europeu de Ciência e Tecnologia Lipídica*, 45–60.
  16. Fujishima, A., Zhang, X., & Tryk, D. A. (2007). Fotocatálise heterogênea: da fotólise da água às aplicações em limpeza ambiental. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, 2664-2672. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.09.009>
  17. Gálvez, J.B., Rodríguez, S.M., Gasca, C. A.E., Bandala, E.R., Gelover, S., & Leal, T. (1985). PURIFICAÇÃO DE ÁGUA POR FOTOCATÁLISE HETEROGÊNICA: ESTADO DA ARTE.
  18. Gómez, J. C. (2006). Uso de nanopartículas em tribologia, geração de energia e catálise. *Técnica Industrial*, 262.
  19. Henao, S. (2001). Tratado fundamental para controle e eliminação. *Abrangente Controle de Pragas*, (62), 92–95.
  20. Herrmann, J. (1999). Fotocatálise heterogênea: fundamentos e aplicações para a remoção de vários tipos de poluentes aquosos. 53, 115-129.
  21. Herrmann, J. (2005). Fotocatálise heterogênea: estado da arte e aplicações atuais. 34 (maio). <https://doi.org/10.1007/s11244-005-3788-2>
  22. Herrmann, J., Guillard, C., & Pichat, P. (1993). Fotocatálise heterogênea, uma tecnologia emergente para tratamento de água. *Catalysis Today*, 17, 7–20.
  23. Hodge, E. & Diamond, M. (2009). Fontes, destino e efeitos das emissões de contaminantes nas áreas urbanas. Em S. Harrad (Ed.), *Persistent Organic Pollutants* (1<sup>a</sup> ed., Pp. 171-207). Toronto: Blackwell Publishing Ltd.

24. Horikoshi, S., Kajitani, M., Sato, S. e Serpone, N. (2007). Uma nova lâmpada sem eletrodo (MDEL) de descarga por microondas sem risco ambiental em processos avançados de oxidação Degradação do herbicida 2, 4-D. *Jornal de Fotoquímica e Fotobiologia, A: Chemistry*, 189, 355-363. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2007.02.027>
25. Ibhaddon, A. O., & Fitzpatrick, P. (2013). Fotocatálise heterogênea: avanços e aplicações recentes. *Catalisadores*, 189-218. <https://doi.org/10.3390/catal3010189>
26. INEC. (2014). *Uso e Gerenciamento de Agroquímicos na Agricultura 2014*.
27. INEC. (2016). *Informação Ambiental na Agricultura 2016*.
28. INEC. (2020). *Informação Agroambiental e Tecnificação Agrícola, Módulo ESPAC 2018*.
29. Iwata, H., Tanabe, S., Sakal, N. e Tatsukawa, R. (2000). Distribuição de organoclorados persistentes nas águas oceânicas e marítimas de superfície e o papel do oceano em seu transporte e destino globais. *Ciência e Tecnologia Ambiental*, 27 (6), 1080-1098.
30. Khodadadi, M.R., Zolfani, S.H., Yazdani, M., & Zavadskas, E.K. (2017). Uma análise MADM híbrida na avaliação do processo de purificação química de águas residuais em relação aos processos avançados de oxidação. 6897 (outubro). <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1281140>
31. Kiarii, E.M., Govender, K.K. & Ndungu, P.G. (2018). Avanços recentes no fotocatalisador de dióxido de titânio / grafeno. *Boletim de Ciência dos Materiais*, 41 (3).
32. Kim, K. Do e Kim, H.T. (2002). Síntese de nanopartículas de dióxido de titânio usando um método de reação contínua. *Colloids and Surfaces*, 207, 263–269.
33. Kusvuran, E., & Erbatur, O. (2004). Degradação de aldrina em sistema adsorvido usando processos avançados de oxidação: comparação dos métodos de tratamento. *Journal of Hazardous Materials*, 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2003.10.004>
34. Comprimento, F. (2007). Concentrações de resíduos de pesticidas organoclorados na água e em peixes de alguns rios do estado de Edo, na Nigéria. 2 (9), 237-241.
35. Leo, A., Hansch, C., Elkins, D., Law, A. H., & Behavior, B. N. (1971). Coeficientes de partição e seus usos. *Revisões Químicas*, 71 (6).
36. Liu, Z., Hong, L. e Guo, B. (2005). Caracterização físico-química e eletroquímica de nanopartículas de dióxido de titânio anatase. *Journal of Power Sources*, 143, 231-235. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2004.11.056>

37. Ljubas, D., Smoljanić, G. e Juretić, H. (2015). Degradação dos corantes Methyl Orange e Red Congo usando nanopartículas de TiO<sub>2</sub> ativadas pela radiação solar e semelhante à solar. *Journal of Environmental Management*, 161, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.042>
38. Lokeren, L. Van, Maheut, G., Ribot, F., Escax, V., Verbruggen, I., Sanchez, C., ... Willem, R. (2007). Caracterização de nanopartículas de dióxido de titânio dispersas em soluções de ligantes orgânicos usando uma estratégia baseada em espectroscopia ordenada por difusão. 6957-6966. <https://doi.org/10.1002/chem.200601722>
39. Lucas, N.T., Hook, J.M., Mcdonagh, A.M. & Colbran, S.B. (2005). Nanopartículas de dióxido de titânio funcionalizadas com complexos Pd e W de um ligante de catecolofosfano. <https://doi.org/10.1002/ejic.200400584>
40. Mahlambi, M.M., Ngila, C.J. & Mamba, B.B. (2015). Desenvolvimentos Recentes na Degradação Fotocatalítica Ambiental de Poluentes Orgânicos: O Caso de Nanopartículas de Dióxido de Titânio - Uma Revisão. *Jornal de Nanomateriais*, 2015.
41. Mahmoodi, N., Arami, M., Limaee, N., Gharanjig, K. e Nourmohammadian, F. (2007). Nanofotocatálise usando nanopartículas de dióxido de titânio imobilizadas Degradação e mineralização de água contendo poluente orgânico: estudo de caso de Butachlor. *Material Research Bulletin*, 42, 797–806. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2006.08.031>
42. Mantzavinos, D. (2008). Em foco: processos avançados de oxidação. *Jornal de Tecnologia Química e Biotecnologia*, 1322, 1321–1322. <https://doi.org/10.1002/jctb>
43. Martínez, C., Canle, M. L., Fernández, M. I., Santaballa, J. A., & Faria, J. (2011). Degradação aquosa de diclofenaco por fotocatalise heterogênea usando materiais nanoestruturados. *Catalise Aplicada B: Ambiental*, 107, 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2011.07.003>
44. Moustakas, N. G., Kontos, A. G., Likodimos, V., Katsaros, F., Boukos, N., Tsoutsou, D., ... Falaras, P. (2013). Nanopartículas de titânio inorgânico-orgânicas com casca de núcleo para fotocatalise eficiente com luz visível ativada. *Catalise Aplicada B: Ambiental*, 130–131, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.10.007>
45. Naicker, P. K., Cummings, P. T., Zhang, H., & Banfield, J. F. (2005). Caracterização de nanopartículas de dióxido de titânio usando simulações de dinâmica molecular. *Journal of Physical Chemistry*, 15243–15249.

46. Nickheslat, A., Amin, M.M., Izanloo, H., Fatehizadeh, A., & Mousavi, S.M. (2013). Degradação fotocatalítica de fenol por processo de oxidação avançado sob radiação ultravioleta usando dióxido de titânio. *Jornal de Saúde Ambiental e Pública*, 2013.
47. Oller, I., Fernández-ibáñez, P., Manuel, I., Pérez-estrada, L., Gernjak, W., Pulgarín, C., ... Malato, S. (2007). Fotocatálise solar heterogênea e homogênea como opção de pré-tratamento para biotratamento. *Pesquisa sobre intermediários químicos*, 33 (3), 407-420.
48. Oturan, M. A., Oturan, N., Edelahe, M. C., Podvorica, F. I., & El, K. (2011). Degradação oxidativa do herbicida diuron em meio aquoso pelos processos de oxidação avançados baseados na reação de Fenton. *Chemical Engineering Journal*, 171 (1), 127-135.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.03.072>
49. Poullos, I. (2007). Edição especial sobre "Aplicações ambientais de processos avançados de oxidação". *Journal of Hazardous Materials*, 146 (abril), 997785.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.073>
50. Rico-oller, B., Boudjemaa, A., Bahruji, H., Kebir, M., Prashar, S., Bachari, K., ... Gómez-ruiz, S. (2015). Fotodegradação de poluentes orgânicos na produção de água e hidrogênio verde via fotorformação de metanol de nanopartículas de óxido de titânio dopado. *Ciência do Ambiente Total*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.101>
51. Robert, D., Piscopo, A. e Weber, J.-V. (2004). Primeira abordagem do tratamento seletivo da água por fotocatalise heterogênea. *Cartas de Química Ambiental*, 5-8.  
<https://doi.org/10.1007/s10311-004-0063-x>
52. Rosales, C., Barrera, C., & Bryan, B. (2019). Disseminação de endossulfão no meio ambiente. Em poluentes orgânicos persistentes (pp. 4-16). IntechOpen.
53. Safe, S.H. (2000). Toxicologia de orgânicos persistentes. *Jornal Europeu de Ciência e Tecnologia Lipídica*, 52-53.
54. Saritha, P., Aparna, C., Himabindu, V., & Anjaneyulu, Y. (2007). Comparação de vários processos avançados de oxidação para a degradação do 4-cloro-2 nitrofenol. 149, 609-614.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.111>
55. Scheringer, M. (2002). *Persistência e faixa espacial de produtos químicos ambientais* (1ª ed.). Wiley-VCH.

56. Serpone, N., Horikoshi, S. e Emeline, A. V. (2010). Microondas em processos avançados de oxidação para aplicações ambientais. Uma breve revisão. *Jornal de Fotoquímica e Fotobiologia*, C: Photochemistry Reviews, 11 (2–3), 114–131. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2010.07.003>
57. Sharma, V. K., Triantis, T. M., Antoniou, M. G., He, X., Pelaez, M., Han, C., ... Dionysiou, D. D. (2012). Destruição de microcistinas por processos de oxidação convencionais e avançados: uma revisão q. *Tecnologia de separação e purificação*, 91, 3–17. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.02.018>
58. Shen, S., Wu, ta Y., Ching, J. & Yang, C. (2011). Desenvolvimentos recentes de semicondutores de óxido metálico como fotocatalisadores em processos avançados de oxidação (POA) para tratamento de águas residuais de corantes. (Abril), 1130–1158. <https://doi.org/10.1002/jctb.2636>
59. Stephen, K. (2019). Capítulo Introdutório: Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). Em *poluentes orgânicos persistentes*. IntechOpen.
60. Teoh, W.Y. & Scott, J. A. (2012). Progresso na fotocatalise heterogênea: da química radical clássica aos nanomateriais de engenharia e reatores solares. *O Journal of Physical Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1021/jz3000646>
61. Vidal, A. e Sanchez, B. (1994). Fotocatálise heterogênea: degradação de suspensões aquosas de etilbenzeno em TiO<sub>2</sub>. *Jornal de Fotoquímica e Fotobiologia*, A: Chemistry, 79, 213-219.
62. Walker, C.H. (2009). *POLUENTES ORGÂNICOS. Uma perspectiva ecotoxicológica* (2<sup>a</sup> ed.; C. Press, Ed.). Nova Iorque.
63. Wang, K., Guo, J., Yang, M., Junji, H. e Deng, R. (2009). Decomposição de dois ácidos haloacéticos em água usando radiação UV, ozônio e processos avançados de oxidação. *Journal of Hazardous Materials*, 162, 1243–1248. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.012>
64. Weinberg, P.J. (2009). *Guia das ONGs para poluentes orgânicos persistentes*. México.
65. Xu, W., Wang, X., & Cai, Z. (2013). Química analítica dos poluentes orgânicos persistentes identificados na Convenção de Estocolmo: Uma revisão. *Analytica Chimica Acta*, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.04.026>
66. Zacharia, J.T. (2019). Vias de degradação de poluentes orgânicos persistentes (POPs) no meio ambiente. Em *poluentes orgânicos persistentes*. IntechOpen.

67. Zhu, X., Pathakoti, K., & Hwang, H. (2019). Síntese verde de nanopartículas de dióxido de titânio e óxido de zinco e seu uso em aplicações antimicrobianas e remediação ambiental. Em *Síntese Verde, Caracterização e Aplicações de Nanopartículas*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00010-1>

©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/>).