

**Revisión sistemática del proceso de degradación de contaminantes orgánicos  
persistentes en aguas residuales, provenientes de la industria farmacéutica por fotocátalisis  
heterogénea**

Laura Isabel Castaño

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, pecuarias y del medio ambiente - ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Dosquebradas

2020

**Revisión sistemática del proceso de degradación de contaminantes orgánicos  
persistentes en aguas residuales, provenientes de la industria farmacéutica por fotocátalisis  
heterogénea**

Laura Isabel Castaño

Trabajo para optar al título de Ingeniería Ambiental

Director(a): Gloria María Doria Herrera

Químico, Magister en Ciencias Químicas, PhD(c) en Ingeniería Ambiental

Línea de Investigación: Gestión y manejo ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, pecuarias y del medio ambiente - ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Dosquebradas

2020

### Dedicatoria

A mi familia por todo el amor, apoyo y acompañamiento que recibí durante este proceso.

A quienes se cruzaron en este trayecto y dejaron huella: mis jefes, compañeros de labor,  
amigos.

## Agradecimientos

Este trabajo ha comportado una amplia búsqueda de literatura desde el mes de noviembre del 2019.

Es obvio, por ello, que no se habría podido realizar sin la colaboración decidida de la docente investigadora Gloria Maria Doria Herrera, por aceptarme en su grupo de investigación, para aportar desde la parte teórica.

## MI AGRADECIMIENTO

A la profesora Gloria María Doria Herrera, por su paciente dedicación, su capacidad de trabajo y liderazgo y su constante interés, preocupación y ayuda a lo largo de este trabajo.

A mis compañeros de la universidad por su apoyo moral y amistad.

## **Resumen**

Las aguas residuales son normalmente una mezcla de componentes orgánicos e inorgánicos que provienen de uso doméstico e industrial, cuando se habla específicamente de residuos de productos farmacéuticos, estos representan un riesgo ambiental incitado por su persistencia y distribución en el agua, así que al aumentar sus descargas provocan una transformación en el medio ambiente y su toxicidad se manifiesta en los componentes vivos de los ecosistemas. Es por esto, que este tipo de aguas residuales farmacéuticas se han convertido en un reto en los últimos años, debido a que estos, no son removidos completamente por los tratamientos tradicionales y esto ocasiona un impacto al medio ambiente y además la cantidad de fármacos que se movilizan al día son muchos.

Por otro lado, para el tratamiento de aguas residuales se han estudiado varias metodologías de tratamiento, tales como la adsorción, filtración por membranas y los procesos de oxidación avanzada, sin embargo, para los dos primeros métodos mencionados su principal dificultad esta asociada que al ser metodos fisicoquímicos presentan dificultades tales como la susceptibilidad a cambios de pH, poca degradación de alta carga orgánica, la recalcitrancia la cual dificulta su capacidad de remoción de los cuerpos de agua. Debido a esta particularidad, los procesos de oxidación avanzada, al ser poco selectivos (gracias a la generación de la especie radicalaria hidroxilo  $\text{OH}^{\bullet}$ ), se logra eliminar en su mayoría con la presencia de compuestos orgánicos, con bajos costos y gran efectividad. Dentro de los procesos de oxidación avanzada, se destaca la fotocátalisis heterogénea, la cual se fundamenta en la preparación de suspensión de óxidos semiconductores que al ser irradiados por energía (luz) generan una separación de cargas denominada electrón par hueco, trayendo consigo la generación de una especie radical del

oxígeno que lleva a la degradación de contaminantes orgánicos. Dentro de sus principales ventajas es la mineralización total de la materia orgánica a bajos costos.

Las aguas residuales son consideradas de alta complejidad, debido a que en su mayoría existen compuestos diversos con elevada cantidad de materia orgánica, específicamente las aguas residuales de la industria farmacéutica, son consideradas de alto interés en los últimos tiempos ya que se ha establecido que posee un sin número de compuestos emergentes, por ello, en esta investigación se propuso la realización de una revisión sistemática acerca del tratamiento de aguas residuales farmacéuticas, haciendo uso de la fotocátalisis heterogénea, teniendo en cuenta las variables significativas del proceso que permitan concluir acerca de las mejores condiciones de operación y de hallazgos significativos en la aplicación de la tecnología. Para lograr este objetivo, se realizó una revisión en diferentes bases de datos especializadas, discriminación de la información y selección de artículos que permitan tener la información mas actualizada acerca de dicho proceso.

**Palabras claves:** Degradación de contaminantes - industria farmacéutica - fotocátalisis heterogénea.

## **Abstract**

Wastewater is normally a mixture of organic and inorganic components that come from domestic and industrial use, when specifically talking about pharmaceutical product residues, these represent an environmental risk prompted by their persistence and distribution in the water, so by increasing their Discharges cause a transformation in the environment and their toxicity is manifested in the living components of ecosystems. It is for this reason that this type of pharmaceutical wastewater has become a challenge in recent years, because these are not completely removed by traditional treatments and this causes an impact on the environment and also the number of drugs that they mobilize daily are many.

On the other hand, for the treatment of wastewater several treatment methodologies have been studied, such as adsorption, membrane filtration and advanced oxidation processes, however, for the first two methods mentioned, their main difficulty is associated with the fact that Physicochemical methods present difficulties such as susceptibility to pH changes, little degradation of high organic load, recalcitrance which hinders their ability to remove from water bodies. Due to this particularity, the advanced oxidation processes, as they are not very selective (thanks to the generation of the radical species hydroxyl  $\text{OH}^{\bullet}$ ), it is possible to eliminate most of them with the presence of organic compounds, with low costs and great effectiveness. Among the advanced oxidation processes, heterogeneous photocatalysis stands out, which is based on the preparation of suspension of semiconductor oxides that when irradiated by energy (light) generate a charge separation called the hollow pair electron, bringing with it the generation of a radical species of oxygen that leads to the degradation of organic pollutants. Among its main advantages is the total mineralization of organic matter at low costs.

The wastewater is considered highly complex, since most of the diverse compounds with a high amount of organic matter exist, specifically the wastewater from the pharmaceutical industry, they have been considered of high interest in recent times since it has been established that they have. Therefore, in this research, a systematic review of pharmaceutical wastewater treatment was proposed, making use of heterogeneous photocatalysis, taking into account the significant variables of the process that allow us to conclude on the better operating conditions and significant findings in the application of technology. To achieve this objective, a review was carried out in different specialized databases, information discrimination and selection of articles that would allow us to have the most up-to-date information about said process.

**Keywords:** Pollutant degradation - pharmaceutical industry - heterogeneous photocatalysis.



## **Tabla de contenido**

Lista de tablas.....	10
Lista de figuras .....	11
Lista de anexos .....	12
Planteamiento del problema.....	13
Justificación .....	16
Objetivos .....	18
Marco teórico .....	19
<b>Procesos de Oxidación Avanzada</b> .....	21
<b>Bases de datos de estudio y definición de la ecuación bibliométrica</b> .....	29
<b>Bases de Datos</b> .....	29
<b>Revisión y Ecuación bibliométrica</b> .....	32
<b>Buscadores booleanos</b> .....	33
Metodología .....	34
<b>Búsquedas de artículos relacionados en bases de datos</b> .....	34
Resultados y análisis de resultados .....	37
<b>Aplicación de buscadores booleanos y construcción de ecuación bibliométrica</b> .....	40
<b>Variables importantes en el proceso fotocatalítico</b> .....	44
<b>Comparación de la eficiencia mediados por procesos fotocatalíticos</b> .....	61
Conclusiones .....	65
Referencia Bibliográfica .....	67

## Lista de tablas

Tabla 1. Resultados de búsqueda de referencias bibliográficas utilizando las distintas combinaciones claves .....	38
Tabla 2. Valores de pH reportados en estudios de fotocátalisis heterogénea .....	46
Tabla 3. Relación de la concentración del contaminante en procesos fotocatalíticos para contaminantes de origen farmacéuticos .....	49
<b>Tabla 4.</b> Concentración del fotocatalizador usado en reacciones fotocatalíticas .....	51
Tabla 5. Valor del tiempo para procesos fotocatalíticos para contaminantes farmacéuticos .....	54
<b>Tabla 6.</b> Ciclo de vida del fotocatalizador .....	56
Tabla 7. Tipo de fotocatalizadores usados en los procesos de fotodegradación de contaminantes farmacéuticos .....	59
Tabla 8. Comparación de la eficiencia de diferentes procesos de oxidación avanzada para la degradación de contaminantes farmaceuticos .....	62

## **Lista de figuras**

Figura 1. Clasificación de procesos de oxidación avanzada. Fuente: (Terán, 2016). .....	22
Figura 2. Estructura de banda semiconductor. Fuente: (Pérez, 2002). .....	24
Figura 3. Resultado de las palabras claves con los buscadores booleanos “OR y AND”. Los términos degradación de contaminantes=X; Industria farmacéutica=Y, “Fotocatalisis heterogénea = Z Fuente: Elaboración propia.....	41
<b>Figura 4.</b> Cantidad de referencias por Base de datos utilizando la palabra "Degradation and pharmaceutical and photocatalyst". Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 5. Relación número de artículos vs puntuación. Fuente: Elaboración propia .....	44

## **Lista de anexos**

Anexo 1 Tabla de evaluación de artículos científicos .....	80
Anexo 2 DATA.....	81

## **Planteamiento del problema**

Las aguas residuales farmacéuticas afectan el recurso hídrico de la población mundial, aunque se encuentren en muy bajas concentraciones, pueden generar fuertes afecciones en el medio circundante (Henríquez, 2012), especialmente, su efecto en los ecosistemas, por lo que pueden ser clasificados como contaminantes emergentes, los cuales son considerados de alto interés ambiental.

Este tipo de residuos, poseen la capacidad de metabolizarse en los organismos acuáticos funcionando como disruptores endocrinos (Forero et al., 2005), asociado con función tiroidea anormal, disminución de la fertilidad en aves, peces, mariscos y mamíferos; disminución del éxito de eclosión en peces, aves y tortugas; feminización de pez macho, aves y mamíferos, masculinización de peces hembra, gasterópodos y pájaros y alteración de la función inmune en aves y mamíferos. Estos efectos nocivos para la salud han sido observados en muchas áreas donde la presencia de múltiples productos químicos artificiales, como subproductos de síntesis química industrial (desechos químicos) y pesticidas (Colborn et al., 1993) han generado efectos que deben ser estudiados ampliamente, además el problema preocupante con los productos farmacéuticos no son sus efectos tóxicos agudos sino su toxicidad crónica, estos compuestos están comúnmente presentes en niveles bajos a lo largo del ciclo de vida de muchos organismos acuáticos y son particularmente importantes para aquellos que viven en aguas que reciben efluentes de aguas residuales un claro ejemplo son los ríos).

Los productos farmacéuticos generalmente son compuestos biológicamente activos que están destinados a no ser fácilmente biodegradables y a menudo son solubles en agua y, por lo tanto, se pueden encontrar en aguas residuales y pueden terminar fácilmente en aguas naturales (Jiang et al., 2013) siendo así los residuos farmacéuticos, por ejemplo, los productos para el

cuidado personal (PCP) y endocrino como los productos químicos disruptivos (EDC), contaminantes emergentes que pueden tener un impacto ambiental y con efectos en la salud humana, se ha encontrado que estas sustancias suelen ser peligrosas, debido a su bioacumulación y persistencia, a pesar de que la presencia de estos contaminantes en el entorno no es nueva, sus efectos en la salud humana y el medio ambiente son de reciente estudio, lo que refuerza la necesidad de buscar nuevas alternativas para la detección y eliminación correcta de estas sustancias en las plantas de tratamiento tanto de agua potable como de aguas residuales (Carrasco et al., 2017).

Como se ha encontrado en la literatura, los procesos de oxidación avanzada han realizado avances importantes con miras al estudio de las especies radicalarias y su potencial aplicación en la degradación de compuestos orgánicos; para el caso del tratamiento de aguas residuales farmacéuticas, ha cobrado interés ya que se pretende probar su capacidad para mejorar la biodegradabilidad, en términos de relación DBO/DQO (Akmehmet, et al., 2003), teniendo en cuenta que la DQO corresponde a una oxidación química de las sustancias oxidables que contienen la muestra y el DBO expresa la cantidad de oxígeno, es así como de manera conjunta se puede estimar la biodegradabilidad de un agua residual.

Además, estos compuestos se encuentran diseminados en el ambiente y se han detectado en fuentes de abastecimiento de aguas subterráneas e incluso en aguas potables y por lo tanto, se hace imperativo la búsqueda de estrategias que permitan mitigar la presencia de estos contaminantes (Gálvez, et al., 2001; Gil, et al., 2013), gracias a lo promisorio de estas tecnologías, por sus bajos costos y alta efectividad.

Teniendo en cuenta, sobre la existencia de algunas investigaciones relacionadas con la efectividad de la fotocatalisis heterogénea y su potencial aplicación en las aguas residuales

farmacéuticas, se requiere revisiones bibliográficas que permitan compilar los últimos avances con relación a la implementación a la metodología, por ello, nos planteamos la siguiente pregunta de investigación:

¿Es posible establecer que la fotocátalisis heterogénea es una buena metodología de tratamiento de aguas residuales farmacéuticas?

Conforme los avances encontrados en revisiones previas, se pudo establecer que existen investigaciones que permitan demostrar que la metodología es efectiva para las condiciones de este tipo de agua residual.

/

## **Justificación**

Las comunidades mundiales de la actualidad se han visto impactadas negativamente, como consecuencia de la contaminación ambiental, tratándose especialmente del agua, siendo esta uno de los recursos más importantes y en este momento uno de los más escasos. A pesar de que el 70% de la tierra está cubierta por agua, solo un 3% es agua dulce y la mayoría está congelada (2%), es decir, solo el 1% está disponible para consumo humano. Por consiguiente, la necesidad de preservar el medio ambiente y con ello los recursos hídricos, ha llevado a la búsqueda de métodos eficientes para eliminar compuestos contaminantes generados por diferentes actividades antropogénicas (Castellar & Osorio, 2012). Puntualmente, las aguas residuales farmacéuticas se originan en las materias primas de uso farmacéutico, donde se encuentran los principios activos terapéuticos, los productos intermedios y los excipientes o sustancias auxiliares (aguas madre de síntesis química, de extracción natural y aguas de lavado de procesos, de limpieza, aguas contaminadas accidentalmente por fugas y derrames) (Alvariño, 2006).

Es por eso, que los procesos de oxidación avanzada (AOP) de quienes se habló por primera vez en la década de 1980 para el tratamiento de aguas potables (utilizando radicales hidroxilo o sulfato como agente oxidante), es posible su aplicación para el tratamiento de las aguas residuales, ya que al ser agentes oxidantes fuertes pueden degradar fácilmente los contaminantes orgánicos recalcitrantes y eliminar ciertos contaminantes inorgánicos presentes en las aguas residuales (Deng & Zhao, 2015).

Uno de las grandes virtudes de estos agentes oxidantes es el potencial redox, ya que permite que se destruyan suficientemente los contaminantes de las aguas residuales y los transformen en productos menos e incluso no tóxicos o en mejor de las condiciones la



mineralización, proporcionando así una solución definitiva para el tratamiento de aguas residuales (Deng & Zhao, 2015). Es por eso, que la fotocátalisis heterogénea, es un proceso que estudia el tratamiento de aguas con alta carga orgánica, en el que se emplea el dióxido de titanio como semiconductor más indicado para usar en el tratamiento fotocatalítico del agua debido a su baja toxicidad, resistencia a la fotocorrosión, disponibilidad, efectividad y relativo bajo costo. En otros estudios, se comprobó que la fotocátalisis heterogénea es capaz de degradar el 90 % de la codeína o lorazepam inicial (15 µg/L y 385,1 µg/L) con un tratamiento de 8 horas y una dosis de 1g/L de óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), aumentando la degradación el tiempo de tratamiento UV-A/VIS (Escuadra, et al., 2017).

En esta investigación, se realizó una búsqueda bibliográfica que permitió establecer cuáles son los avances que se han realizado frente a la aplicación de procesos fotocatalíticos para el tratamiento de aguas residuales farmacéuticas. Se realizó una compilación de documentación especializada, acudiendo a bases de datos tales como Scielo, Dialnet, Science direct, Proquest, American Chemical Society, Redalyc y los criterios de selección se realizarán basados en tablas de valoración previamente validadas. Para la clasificación de la información, se utilizó los parámetros que afectan los procesos fotoquímicos tales como: temperatura, pH, tipo de lámpara, tiempo, concentración del fotocatalizador entre otros. En el caso de la variable respuesta, el porcentaje de fotodegradación como respuesta preponderante en la mayoría de los artículos revisados. Finalmente, se realizó una comparación de términos de eficiencia mediados por procesos fotocatalíticos con relación a otros procesos de oxidación avanzada aplicados para la matriz de estudio.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Realizar una revisión sistemática del proceso de degradación de contaminantes orgánicos persistentes en aguas residuales, provenientes de la industria farmacéutica por fotocátalisis heterogénea.

### **Objetivos específicos**

- Recopilar la información relacionada con el proceso de fotocátalisis heterogénea en aguas residuales, haciendo uso de bases de datos reconocidas en el área temática de interés.
- Establecer las variables de mayor significancia en el proceso de fotocátalisis heterogénea en aguas residuales, relacionadas con la matriz de estudio.
- Comparar los resultados en términos de eficiencia mediados por procesos fotocatalíticos con relación a otros procesos de oxidación avanzada aplicados para la matriz de estudio.

## **Marco teórico**

### **Definición de aguas residuales**

Por definición las aguas residuales servidas son aquellas que han sido usadas en la actividad doméstica o industrial, ellas empezaron a existir desde que al hombre se le ocurrió que el agua sería un medio excelente para limpiar y llevar lejos los detritos humanos y otros desperdicios generados en su actividad cotidiana (Orozco, 2005).

Según Sandoval, 2013, las aguas residuales son aquellas que, estando contaminadas con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Las aguas residuales, por ejemplo, las municipales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población; después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal. Según su uso precedente, estas aguas resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con residuos de industrias, de actividades agrícolas, así como las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación (Espinosa, 2014).

### **Aguas residuales farmacéuticas**

Los principios activos farmacéuticos (fármacos, fitoterapéuticos y productos biotecnológicos) constituyen una variedad de compuestos, con propiedades diversas, ionizables en la mayoría de los casos e incorporados en matrices complejas para garantizar su estabilidad y preservar su actividad biológica. En general, son obtenidos por síntesis orgánica y su paso a través de los sistemas biológicos no garantiza su total biotransformación. Se puede resaltar que muchos de estos son transformados en su totalidad en el hígado y algunos otros son eliminados

casi en su totalidad, provocando alteraciones ambientales o bioacumulación en algunos de los niveles de la cadena trófica (Cartagena, 2011).

Los productos farmacéuticos no eran considerados contaminantes ambientales dado que se desconocía su acumulación o la de sus productos de transformación en suelos, aguas, aire, tejidos vegetales y tejidos animales. Por esta razón, la concentración de estos en matrices ambientales y en especial en los cuerpos de agua ha sido indeterminada, y solo a partir de los años noventa (90) se empezaron a cuantificar en aguas, concentraciones entre partes por billón (ppb) y partes por trillón (ppt). En publicaciones recientes, se reporta que en países como España, Italia, Alemania, Canadá, Brasil, Grecia y Francia hay descargas al agua de aproximadamente 500 toneladas de analgésicos por año, en donde el ácido salicílico y el diclofenaco han alcanzado concentraciones de  $0,22\mu\text{g/L}$  y  $3,02\mu\text{g/L}$ , respectivamente (Cartagena, 2011).

Hay compuestos químicos que alteran la estabilidad de nuestros recursos naturales, y por lo tanto hay tecnologías que permiten mediar ante estas fuertes necesidades ambientales, como es el caso de los procesos de oxidación avanzada (AOP) que utilizan radicales hidroxilo o sulfato, potentes como agente oxidante principal se propusieron por primera vez en la década de 1980 para el tratamiento de agua potable. Más tarde, los AOP se aplicaron ampliamente para el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales porque los oxidantes fuertes pueden degradar fácilmente los contaminantes orgánicos recalcitrantes y eliminar ciertos contaminantes inorgánicos en las aguas residuales. Se han realizado estudios que buscan revisar los fundamentos y los avances recientes en los procesos avanzados de oxidación para el tratamiento de aguas residuales. En particular, se han analizado en detalle los AOP para el tratamiento de lixiviados de vertederos (Deng & Zhao, 2015).

## **Procesos de Oxidación Avanzada**

(Como se cita en Hernando, 2017, p. 19) son procesos que se basan en tratamientos fisicoquímicos que producen cambios bruscos en la estructura química de los contaminantes, generando especies fuertemente oxidantes e inestables como el radical hidroxilo ( $\text{HO}\bullet$ ), el cual puede ser generado por medios fotoquímicos o por otras formas de energía, teniendo una alta efectividad para la oxidación de la materia orgánica. Se caracterizan por una variedad de reacciones radicales que implican combinaciones de agentes químicos y fuentes de energía auxiliares. Los radicales implicados van a ser el hidroxilo ( $\text{OH}\bullet$ ) como principal oxidante, y el hidroperóxilo ( $\text{HO}_2\bullet$ ) y los radicales peroxilo orgánicos ( $\text{R-O-O}\bullet$ ) como aniones radicales (Ikehata, et al., 2007).

Los AOP se clasifican en procesos fotoquímicos y no fotoquímicos, en función de la utilización o no de radiaciones luminosas en el proceso. En la siguiente tabla se indican algunos de los más utilizados actualmente. Una de las razones que han hecho que los AOP sean objeto de un interés cada vez mayor, es la posibilidad de utilizar energía solar como fuente de fotones, con el consiguiente ahorro energético y las ventajas medioambientales que ello supone. Por lo tanto, tienen un mayor interés los AOP fotoquímicos (Terán, 2016).

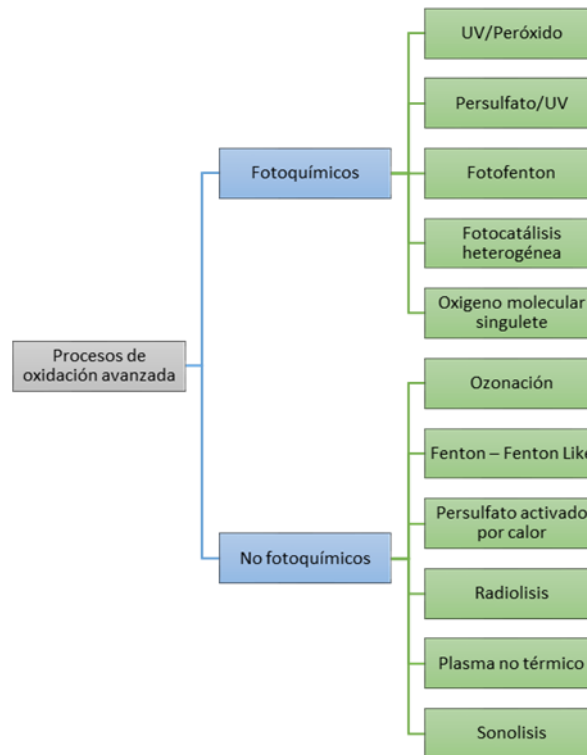


Figura 1. Clasificación de procesos de oxidación avanzada. Fuente: (Terán, 2016).

Entre las ventajas de la oxidación avanzada se encuentran la potencialidad de eliminar altas cargas de carbono orgánico y la capacidad de actuar sobre matrices complejas de distintos contaminantes gracias a su carácter no-selectivo. Además, la metodología se basa en la destrucción de contaminantes y no en un solo traslado del contaminante a otra fase, y si bien pueden producir lodos, lo hacen en una menor cantidad que los procesos biológicos convencionales, permiten además la transformación de contaminantes tóxicos en otros productos menos refractarios, que luego pueden ser tratados biológicamente. Adicional a ello, es considerada una tecnología de gran versatilidad, sencilla de operar y que en su mayoría se producen a temperatura ambiente, aunque existen desarrollos más intensivos como la oxidación húmeda (Wet Air Oxidation) o supercrítica, un sistema derivado del reactivo Fenton que opera a temperaturas y presiones elevadas (Sanz y otros, 2013).

## **Fotocatálisis Heterogénea**

En las últimas décadas las tecnologías de oxidación avanzada se han consolidado como una alternativa eficiente en la destrucción de sustancias tóxicas, incluyendo las orgánicas, inorgánicas, metales o patógenos. En general en el tratamiento de aguas las tecnologías de oxidación avanzada se utilizan cuando los efluentes contaminados tienen una alta estabilidad química y/o una baja biodegradabilidad. Es cada vez más común la utilización de la oxidación avanzada en los tratamientos terciarios y especialmente en las plantas depuradoras de ciertas industrias. Estas tecnologías se han utilizado asimismo en la remediación de suelos contaminados, aguas subterráneas o superficiales y sustancias gaseosas (Sanz et al., 2013).

La fotocátalisis heterogénea es una tecnología avanzada de oxidación que permite la degradación y la mineralización de gran variedad de compuestos orgánicos (Garcés et al., 2004). El proceso se basa en la excitación de un fotocatalizador sólido, normalmente semiconductor de banda ancha, sumergido en una solución, el cual, mediante la absorción de energía radiante (visible o UV), origina reacciones simultáneas de oxidación y reducción en diferentes zonas de la región interfacial (Peiró, 2003); además el catalizador más utilizado es la forma cristalina anatasa del dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), ya que por ser económico, inerte y resistente a la fotocorrosión ampliamente utilizado para reacciones fotocatalíticas.

Según la teoría de bandas existen bandas de conducción y bandas de valencia. El intervalo de energía entre la banda de conducción y la de valencia es el denominado band-gap, como se puede observar en la figura 2.

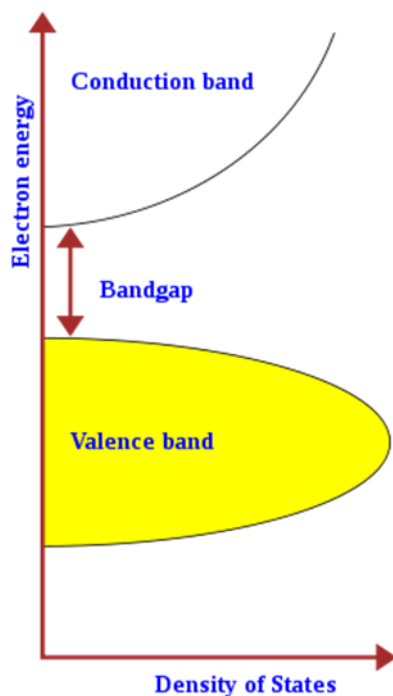


Figura 2. Estructura de banda semiconductor. Fuente: (Pérez, 2002).

El band-gap es la energía necesaria para llevar un electrón de la banda de valencia a la de conducción, dependiendo de cuántos electrones haya en cada una de las bandas los materiales se comportarán como aislantes, conductores o semiconductores (Pérez, et al., 2002).

Por otro lado, según Marena, et al., 2017, las variaciones de potencia en el fluido de reacción son causadas tanto por la energía absorbida a través de la pared del reactor, cuyas propiedades ópticas permanecen constantes (como lo hace el calor específico del fluido de reacción) como por los componentes del sistema. Por lo tanto, se supone que la fase fluida no absorbe radiación, la pared del reactor no permite la entrada de radiación por debajo de 240 nm y la energía necesaria para excitar el dióxido de titanio es de 3,2 V y como consecuencia de ello sólo es capaz de absorber luz ultravioleta ( $\lambda < 385$  nm) (Castillo, 2016).



Una de las ventajas de este proceso es su capacidad de destruir prácticamente cualquier tipo de sustancia orgánica, incluidas mezclas complejas. En este sentido, es capaz de descomponer incluso sustancias cuyo tratamiento, empleando otros métodos, es difícil o peligroso, tales como las dioxinas, bifenilos policlorados, pesticidas, colorantes o fármacos (Colina-Márquez y Castilla-Caballero, 2013; Dasary et al., 2010; Son et al., 2009; Samara et al., 2015; Raza et al., 2015). Por lo anterior, esta tecnología actualmente se ha implementado para la degradación fotocatalítica de contaminantes emergentes usados en el baño del ganado, obteniendo resultados satisfactorios (Barrios y Yepes, 2010; Estrada y otros, 2019).

De esta manera, la oxidación fotocatalítica tiene la función de la destrucción de los contaminantes mediante el empleo de radiación solar ultravioleta y catalizadores con el objeto de formar radicales hidroxilos, los cuales posteriormente tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos. En este proceso la oxidación tiene lugar directamente en la superficie de la partícula que se utiliza como catalizador o semiconductor óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), entre otros, siendo la radiación solar la única fuente de energía. La fotocatalisis heterogénea mediada por  $\text{TiO}_2$  y la fotooxidación mediada por compuestos férricos son dos alternativas atractivas para el tratamiento de aguas (Garcés, Franco & Santamaría 2004).

Dentro de esta tecnología, el radical hidroxilo ( $\text{OH}^\bullet$ ) es el agente oxidante más reactivo en el tratamiento del agua, con un potencial de oxidación entre 2.8 V (pH 0) y 1.95 V (pH 14) vs. SCE (electrodo de calomel saturado, el electrodo de referencia más comúnmente usado).  $\text{OH}^\bullet$  es muy poco selectivo en su comportamiento y reacciona rápidamente con numerosas especies con constantes de velocidad del orden de  $10^8$  a  $10^{10}$ ,  $\text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$ . Los radicales hidroxilos atacan los contaminantes orgánicos a través de cuatro vías básicas: adición de radicales, abstracción de hidrógeno, transferencia de electrones y combinación de radicales. Sus reacciones con

compuestos orgánicos producen radicales centrados en el carbono ( $R^{\bullet}$  o  $R-OH$ ) Con  $O_2$ , estos radicales de centro de carbono pueden transformarse en radicales orgánicos peroxilo ( $ROO^{\bullet}$ ). Todos los radicales reaccionan además acompañados de la formación de especies más reactivas como el  $H_2O_2$  y el superóxido ( $O_2^{\bullet-}$ ), lo que lleva a la degradación química e incluso a la mineralización de estos compuestos orgánicos. Debido a que los radicales hidroxilos tienen una vida muy corta, sólo son in situ producida durante la aplicación a través de diferentes métodos, incluyendo una combinación de agentes oxidantes (tales como peróxido ( $H_2O_2$ ) y ozono ( $O_3$ ) irradiación (tal como luz ultravioleta o ultrasonido), y catalizadores (como  $Fe^{2+}$ ) (Deng & Zhao, 2015). Conforme a las múltiples variables que pueden influir de manera significativa en el proceso de fotocátalisis se destacan:

**A. pH:** está definido como el grado de acidez o alcalinidad que señala la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia, el pH es una característica que tiene influencia en varios campos, influye en la corrosión de metales, en la fijación de determinados preservantes químicos, en la coloración de algunas sustancias; la acidez o basicidad de una solución, depende de la cantidad de iones de  $H^+$  o de iones  $-OH$  presentes en una solución acuosa. La concentración de iones de hidrógeno es un indicador no solamente para una reacción ácida sino también para una reacción básica, porque existe una relación simple entre la concentración de  $H^+$  u iones  $-OH$ . La concentración de iones de hidrógeno se indica por razones prácticas en lugar de una fabricación (p. ej. 1/10, 1/1000, 1/100000) en potencias de 10 (Albin, 1975).

**B. Concentración del contaminante y del fotocatalizador:** A nivel general por definición, la concentración es considerada como la proporción o relación entre la cantidad del soluto con relación a la cantidad de un solvente, por ello a nivel general dependiendo de qué tipo

de matriz se está trabajando, tendrá una connotación y un efecto diferente. Cuando se habla de concentración de contaminante en matrices ambientales (aguas) está directamente relacionada con la cantidad de ese contaminante presente en la matriz de estudio, además la concentración de estos contaminantes en el medio ambiente generalmente se encuentra en un rango de unidades muy bajo, partes por millón (ppm) y partes por billón (ppb), usando  $\mu\text{g/L-1}$  a  $\text{ng/L-1}$  (Colborn, et al., 1993), en otros estudios se han reflejado unidades como  $\text{pg/L-1}$  a  $\text{ng/L-1}$ , para ciertos grupos de productos farmacéuticos y Micromolar ( $\mu\text{M}$ ) si se está trabajando con concentraciones en Molaridad (Jiang, et al., 2013). Uno de los factores que afectan la correcta preparación de una solución acuosa tiene que ver con su capacidad de poderse disolver, la solubilidad de los semiconductores limita también su uso en medios muy alcalinos (Rodríguez et al., 2004), la mayoría de ellos son de origen sintético, muy solubles en agua, altamente resistentes a la acción de agentes químicos y poco biodegradables (Lerici, et al., 2018).

Se han desarrollado estudios donde la degradación fotocatalítica de aguas residuales sintéticas hospitalarias, que contienen contaminantes farmacéuticos, a saber en este caso, trihidrato de amoxicilina (un antibiótico de uso común) y metformina HCl (un medicamento para la diabetes ampliamente utilizado), donde la metodología de superficie de respuesta basada en el diseño compuesto central, centrado en la cara se utilizó para optimizar las variables independientes, a saber, las concentraciones iniciales de contaminantes (10–50 mg/L), dosis de  $\text{TiO}_2$  (250–1250 mg/L), pH inicial (3 –11) y tiempo de reacción (30–150 min). Los resultados mostraron que tanto las remociones de amoxicilina como de metformina fueron influenciadas por las cuatro variables individualmente y también por la interacción entre estas variables. La superficie de respuesta y los gráficos de contorno superpuestos se usaron para evaluar las condiciones óptimas. Se descubrió que la eliminación máxima de amoxicilina (90%) y

metformina (98%) podría ocurrir cuando el pH es 7.6, la dosis de  $\text{TiO}_2$  es 563 mg/L, y el tiempo de reacción es 150 min para una concentración inicial de los contaminantes. a 10 mg/L (Chinnaiyan et al., 2018).

**C. Tiempo y ciclo de vida del fotocatalizador:** Cuando se habla de la concentración del fotocatalizador está siendo relacionada la cantidad o concentración del fotocatalizador en un volumen definido de solución, usualmente cuando se han desarrollado trabajos que se hacen en efluentes simulados, se toma un volumen definido, siendo la metodología más usual, para poder establecer el volumen correcto y con ello la dosificación del fotocatalizador, la unidad del tiempo generalmente es el minuto, refiriéndose al tiempo que requiere el fotocatalizador para estar en contacto con la solución del contaminante, para que logre su proceso de degradación y cuando se habla del ciclo de vida del fotocatalizador, se refiere al número de veces que es posible utilizar el fotocatalizador, manteniendo sus propiedades fotocatalíticas (rendimiento cuántico).

**D. Temperatura:** es una magnitud que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, dicha energía interna se expresa en términos de calor y frío, siendo el primero asociado con una temperatura más alta, mientras que el frío se asocia con una temperatura más baja, las unidades de medida de temperatura son los grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), los grados Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) y los grados Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ).

Cuando se habla de la síntesis de un fotocatalizador, la temperatura es importante en el momento en el que se realiza la calcinación o sinterizado de cualquier catalizador, puesto que esta favorecerá la formación de la estructura cristalográfica, por lo tanto, su transformación, además de depender de la temperatura, dependerá del grado de impurezas del polvo, tamaño de grano, área superficial, tamaño de la partícula, así como de la técnica de crecimiento que se emplee y el uso de diferentes precursores.

Debido a la activación fotónica, los sistemas de fotocátalisis requieren demasiado calor y operan a temperatura ambiente. La energía de activación es de un valor bajo (KJ/mol) en temperatura ambiente (20°C-35°C), sin embargo, a muy bajas temperaturas (debajo de 10°C) la energía de activación incrementa afectando el proceso de fotocátalisis, igualmente sucede cuando la temperatura es superior a 50°C ya que la energía de activación disminuye tendiendo a ser negativa.

## **Bases de datos de estudio y definición de la ecuación bibliométrica**

### **Bases de Datos**

Fidel (1987 citado en Abadal, 2005) definía una base de datos como un intento de representación de una parte del mundo real: “Una base de datos es un almacén de datos de una parte seleccionada del mundo real para ser utilizado con propósitos particulares.”

El entorno es el contexto en el cual se crea la base de datos, es decir, se trata de una determinada organización, con unos usuarios concretos y unas necesidades de información más o menos precisas. La finalidad de la base de datos no es otra que solucionar necesidades de información, por lo tanto, las características y necesidades propias del entorno condicionarán en cada caso de forma directa la estructura y organización de las bases de datos.

Willits (1992 citado en Abadal, 2005) definía una base de datos como “una colección de datos almacenada en archivos de ordenador que es accesible a diversos usuarios y diversos programas.”, desde este punto de vista, se sitúa el énfasis en el hecho de que una base de datos es un conjunto de datos estructurados de forma sistemática.

Las bases de datos permiten comparar información y a al lector le da la facilidad del uso de un catálogo típico de biblioteca, los datos están representados siempre igual y son explícitos,

siendo fácil comparar y buscar documentos e información, las bases de datos utilizados para esta investigación son:

**Scielo:** El acceso a esta Base de datos es abierto, hace parte de las políticas de CONICYT de la difusión de sus resultados y fomento a la investigación, el objetivo del sitio es ejecutar una biblioteca electrónica, que suministre ingreso completo a una colección de revistas científicas chilenas, a cada uno de sus números, así como al texto completo de los artículos. Se encuentran temáticas en: Biología, Ciencias agrarias, Ciencias de la salud, Ciencias Exactas y Naturales, Ciencias sociales, Humanidades, Ingeniería, ciencia y tecnología y Lengua y literatura. El acceso tanto a las revistas como a los artículos se puede hacer usando índices y formularios de búsqueda (Fundación para el Apoyo a la Investigación, 1997).

**Dialnet:** El acceso a esta Base de datos es libre, es un portal de extensión para producción científica hispana específico en ciencias humanas y sociales, fue creada por la Universidad de La Rioja (España) y comprende una hemeroteca virtual que incluye los índices de las revistas científicas y humanísticas de España, Portugal y Latinoamérica y también libros (monografías), tesis doctorales, homenajes y otro tipo de documento, de la Universidad de La Rioja, (2009).

**Science direct:** Base de datos científica, líder de texto completo, es de acceso abierto, además permite tener acceso de artículos de revistas y capítulos de libros de más de 2,500 revistas revisadas por pares y más de 11,000 libros; en diversos apartados de su sitio web, Science Direct destaca su cobertura de ciencias biomédicas, sin embargo se trata en realidad de una base de datos multidisciplinar (Física e ingeniería, Ciencias de la vida, Ciencias de la salud y Ciencias sociales y Humanidades (Elsevier Science, 1998).

**Scopus:** El acceso a la Base de datos es bajo suscripción con FECYT y tiene un coste asociado para la institución. Es una Base de datos que indexa el contenido de 24,600 títulos activos y 5,000 editores que es rigurosamente examinado y seleccionado por un comité de revisión independiente, y emplea una rica arquitectura de metadatos subyacentes para conectar personas, ideas publicadas e instituciones; sus temáticas específicamente son; en revistas todos los campos de química, ciencias de la salud y biológicas; en conferencias principalmente ingeniería e informática y libros fundamentalmente de utilidad en Ciencias Sociales y Artes y Humanidades (Elsevier, 2004).

**Proquest:** Proquest no es una base de datos, es un conglomerado de compañías que se dedica a proporcionar recursos para gestionar información y prestar servicios a bibliotecas e investigadores., el acceso es solo para la comunidad PUCP, se presta un servicio global con más de 26 bases de datos de publicaciones electrónicas en Internet, con acceso al texto completo de más de 5.000 publicaciones, periódicos y revistas, asimismo se incluyen 2.000.000 de tesis doctorales de las principales universidades del mundo y resúmenes e indexación detallados para otras 3000 publicaciones; las temáticas que se encuentran son: Economía y negocios, Lengua y literatura, Salud y medicina, Artes, Ciencia y Tecnología (ProQuest LLC, 1971).

**American Chemical Society:** El acceso a la Base de datos es desde las instituciones. La American Chemical Society (ACS) o Sociedad Americana de Química es una sociedad científica (colegio profesional) con sede en los Estados Unidos de América que fundamenta en la investigación científica en el campo de la Química. Fue fundada en 1876 en la Universidad de Nueva York. Actualmente tiene unos 160.000 miembros de todos los grados académicos, en los campos de la Química, ingeniería química, y otros relacionados (American Chemical Society, 1876).

**Redalyc:** El acceso a esta Base de datos es abierto: Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, las temáticas que allí se pueden consultar son: Ciencias de la Salud, Ciencias Sociales, Ciencias Naturales, Arte, Música y Diseño, Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Ciencias Jurídicas, Ciencias Exactas, Matemáticas, Física, Ciencias Políticas, Educación, Filosofía, Literatura Psicología, Religión y Teología (Universidad Autónoma del Estado de México, 2002).

### **Revisión y Ecuación bibliométrica**

Los autores opinan que es una disciplina con ciertas características, indicando en especial tres (Fernández, 2016):

1. Se trata de una doctrina reciente, aunque enraizada a principios del siglo XX en el entorno de la biblioteca con la idea de medir la producción de conocimiento (estadísticas bibliográficas), y gestionar adecuadamente las colecciones de bibliotecas, no es hasta después de la Segunda Guerra Mundial que la bibliometría inicia realmente a establecer sus bases. Sus fundamentos epistemológicos aún están siendo abordados y explorados.

2. Es una doctrina que se demarca por sus métodos que por las áreas temáticas que cubre. Las denominadas "métricas" consideradas como el análisis de datos cuantitativos que aplican diversas técnicas estadísticas.

3. Tiene un fuerte carácter interdisciplinario que se manifiesta de la incorporación de métodos y técnicas desarrolladas en otros campos y por su aplicación al estudio de cualquier materia; por lo tanto, la bibliometría es una disciplina abierta, dispuesta para ser enriquecida por las ideas de la más diversa procedencia y para aceptar los científicos de los más diversos



entornos disciplinarios. Esta es la razón por la que la bibliometría se asemeja a un cruce de caminos, un lugar donde se reúnen diferentes tradiciones científicas (Fernández, 2016).

La determinación de ecuaciones bibliométricas, nos conlleva a la ecuación con la correlación de términos adecuados que nos llevan a una búsqueda óptima (Pineda., et al, 2015).

### **Buscadores booleanos**

Los operadores booleanos son palabras o comandos que conectan dos o más términos, lo cual resulta en la búsqueda de artículos que contenga los términos incluidos. Los resultados de la búsqueda varían dependiendo del operador utilizado; los operadores más comunes son AND y OR (en mayúsculas) (Rodríguez., et al, 2018).

- Si se utiliza AND entre dos términos, el buscador incluirá todos los artículos que tengan ambos términos utilizados, y no incluirá ningún artículo que solamente contenga uno u otro término.

- Se utiliza OR para combinar dos o más términos diferentes, e incluirá artículos que tengan uno u otro término, de tal manera que la búsqueda resultará en un mayor número de artículos. También se pueden combinar los operadores AND y OR en la misma búsqueda. Sin embargo, esto conlleva un riesgo ya que PubMed procesa la información de izquierda a derecha, por lo que el resultado de búsqueda puede no ser el esperado (Rodríguez, et al., 2018).

## **Metodología**

### **Búsquedas de artículos relacionados en bases de datos**

Inicialmente en esta investigación se hizo uso del buscador especializado Google Scholar o Google Académico, siendo este un motor de búsqueda en Internet de artículos académicos y recursos de editoriales, sociedades profesionales, universidades y otros sitios web, su funcionamiento es similar al de la búsqueda web regular de Google, incluso se puede limitar los resultados con la función “búsqueda avanzada”. Así mismo, este buscador devuelve no sólo artículos de revistas académicas, sino también informes de investigación, disertaciones y tesis, preimpresiones, informes técnicos, patentes, documentos de trabajo, libros, opiniones de tribunales, así como cosas como presentaciones en Power Point, páginas web y muchos otros tipos de documentos que considera académicos mediante un algoritmo incorporado (Javier, 2019).

Alternando con la búsqueda en google académico, también se hizo una exploración en las bases de datos tales como Scielo, Dialnet, ScienceDirect, Scopus, Proquest, American Chemical society y Redalyc, utilizando un filtro para escoger los artículos publicados en los últimos cinco años (2015 - 2020).

Para la activación de dichas búsquedas, se emplearon distintas combinaciones sintácticas de palabras claves previamente caracterizados en la exploración general en google académico. Las combinaciones de palabras fueron: “Degradation of pollutants or pharmaceutical industry, Degradation of pollutants and heterogeneous photocatalysis, pharmaceutical industry and heterogeneous photocatalysis, pharmaceutical industry, Heterogeneous photocatalysis and Degradation and pharmaceutical and photocatalyst”; es importante resaltar que en las búsquedas se usaron términos en inglés dado que la mayoría de los artículos se encontraron en dicho

idioma, además para el almacenamiento y construcción de la data de artículos se hizo uso del gestor bibliográfico gratuito Mendeley.

Finalmente, para establecer los criterios de inclusión/exclusión de documentos para la construcción de la monografía, se construye unas tablas de puntuación basados en la metodología PRISMA, la cual está basada de en la consolidación de aspectos que deben tener un artículo para consolidación de criterios de la calidad, por ello, se hace una valoración, de 7 ítems (título, DOI, fundamento, metodología, selección de estudios y recopilación de datos, riesgo de sesgo y conclusiones); que permitieron la elegibilidad de los estudios pertinentes para poder hacer comparaciones y análisis de los autores, de esta manera se pueden optar por describir las discusiones por pares frente a un tema en específico (Hutton, et al., 2016).

Para expresar en términos de medición bibliométrica se tuvo en cuenta un índice de caracterización por su flexibilidad, permitiendo de esta manera la adición o eliminación de valores de acuerdo a las características del objeto de estudio que se desea evaluar (Pérez, 2017), ya que el análisis bibliométrico siendo una técnica de investigación validada en múltiples campos (Wagner et al., 2011). Al respecto, Coombes y Nicholson (2013); Carvalho, Fleury y Lopes (2013); Arduini y Zanfei (2014); y Paiva Dias (2014) resaltan cómo este tipo de análisis permite identificar tendencias en el conocimiento a través de la aplicación de técnicas cuantitativas que enriquecen, entre otras fases de la investigación, la revisión bibliográfica (Pineda., et al, 2015).

Luego de obtener la puntuación respectiva, se eligió los artículos denominados concluyentes para la elaboración del documento final, teniendo en cuenta la variable respuesta (porcentaje de degradación) de los compuestos provenientes de las aguas residuales de la industria farmacéutica, considerando puntuaciones del 1 al 5, dando el valor de 1 como el de

menos puntuación y 5 como la valoración más alta. y posteriormente se describieron las variables que son significativas dentro del proceso de fotocátalisis heterogénea.

Teniendo en cuenta las variables más significativas del proceso fotocatalítico anteriormente mencionada, se hicieron conclusiones y se comparó los diferentes hallazgos que permitan concluir cuales son las condiciones de operación que nos lleve a la implementación experimental.

## **Resultados y análisis de resultados**

### **Búsqueda en las Bases de datos**

Para la búsqueda de los artículos con miras a la construcción de data para la investigación, se hizo uso de las bases de datos anteriormente mencionadas, como se muestra en la tabla 1, revelando la relación entre las combinaciones de las palabras claves, con la variable respuesta. Se puede apreciar en la tabla 1, que no solo se utilizaron términos individuales, sino que se utilizaron términos combinados, haciendo uso del buscador booleano, de este resultado se pudo establecer que al consultar el término “industria farmacéutica” se encontraron 543.056 documentos, determinando de esta manera que la exploración se hace muy general y por lo tanto, se arrojan resultados generales, notándose que es mayor la cifra en la base de datos de Science Direct con 222.680, esto se asocia a las características de la base de datos, algo similar sucede con las palabras claves degradación, contaminantes y farmacéutica en el momento que se acompañan del buscador booleano “OR”, es decir, este buscador no indica exclusividad, en otros términos, en un documento él permite filtrar un término o el otro, a su vez es un buscador muy general porque el primer o el segundo término se pueden encontrar en toda la búsqueda, vale decir, que no delimita que deben estar ambos en el documento. Además, en la base de datos de Proquest se encuentran 259.007 artículos siguiendo estos mismos lineamientos de generalidad en los hallazgos, demostrando con ello que el buscador booleano “OR”, es un buscador bastante generalizado y no permite afinar la búsqueda.

Puntualmente, al analizar cuando se realizó la asociación del buscador booleano “AND” sucede lo contrario, debido a que la búsqueda se hace más específica, porque deben estar todas las palabras asociadas en el documento, y es así que, con el operador booleano “AND” la base de datos que más arroja número de documentos es Science direct (4.247), lo cual permite optimizar

la consulta y de esta manera afinar la búsqueda, dando mayor especificidad en el área de estudio de nuestro interés.

Tabla 1. Resultados de búsqueda de referencias bibliográficas utilizando las distintas combinaciones claves

Base de Datos	Palabras Claves						
	Degradati	Degradati	pharmaceutical	pharmaceutical	Heterogeneous	Degradati	Total
SciELO	21	9	0	76	87	0	10
o	5			7			78
Dialnet	4	1	1	60	48	3	66
				8			5
Sciencedirect	12	95	15	22	15	42	26
	690	21	01	2680	815	47	6454
Scopus	40	61	16	68	37	26	77
us	75	1		274	95	5	036

<b>Proq</b>	25	35	69	20	59	12	47
<b>uest</b>	9007	10	3	0936	19	76	1341
<b>Ame</b>	74	10	21	30	41	37	37
<b>rican</b>	2	70	4	971	78	4	549
<b>Chemestry</b>							
<b>society</b>							
<b>Red</b>	23	98	22	18	42	5	78
<b>alyc</b>	528	98	203	820	77		731
<b>TOT</b>	30	24	24	54	34	61	93
<b>AL</b>	0261	620	628	3056	119	70	2854

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los hallazgos más importantes teniendo en cuenta que las cifras son cambiantes, es pertinente mencionar, puntualmente cuando se hizo la búsqueda de artículos en Scielo, se pudo observar que hay buena cantidad de artículos, pero relacionados con temas de industria farmacéutica con campo de la medicina que se aleja un poco a nuestra búsqueda específica de la fotocatalisis como proceso de degradación de contaminantes en el recurso hídrico, de esta manera, las demás búsquedas arrojan detalles similares donde los artículos seleccionados son pocos, ya que también es de tener en cuenta que se realizó un filtro de búsqueda de referencias en los últimos 5 años; dentro de los aspectos más destacados de dicha base es que permite filtrar por palabras claves, por años, autores, y temáticas, lo cual hace que se haga grata la manera de poder acceder a los artículos y de igual manera el acceso que tiene con Mendeley para descargar los artículos es muy precisa. Al finalizar el proceso de búsqueda, se pudo establecer 17 artículos preseleccionados para la revisión correspondiente.

Así mismo, al realizar la búsqueda de artículos en la base de datos Dialnet la mayoría de artículos de interés para esta revisión, están desde el año 2007 hasta el 2013, lo cual se aleja del rango establecido de años para esta investigación. Además, el contenido de esta base de datos se encuentran temas variados relacionados con ciencias humanas y sociales, en su mayoría, la cual conlleva a que la búsqueda en esta base de datos sea muy limitada para el área del conocimiento de esta investigación.

### **Aplicación de buscadores booleanos y construcción de ecuación bibliométrica**

Haciendo la comparación de la cantidad de las publicaciones encontradas, después de utilizar los buscadores booleanos OR y AND, representados en la figura 3, dentro de los hallazgos más significativos, se puede evidenciar en el análisis gráfico que al utilizar el operador lógico OR, hay fluctuaciones entre los hallazgos en términos de cantidad, reflejando con ello que al utilizar dicho buscador se hace muy generalizado y por ello se observan cifras tan elevadas frente a la búsqueda. Por otro lado, al utilizar el buscador booleano AND se evidencia que se encuentran cifras muy homogéneas en los resultados encontrados.

También se pudo observar que Proquest es la base de datos que más muestra presencia de artículos con 259.007, lo que significa que la búsqueda no es tan específica y se amplía el margen de artículos que se encuentran, esto es cuando se hace la búsqueda con el operador booleano OR y al contrario sucede al utilizar el operador AND, donde, Science Direct es la base de datos que más muestra resultados, con 4.247 artículos, indicando que es un resultado más específico por las características mencionadas anteriormente, con un rango más pequeño al igual que las demás bases de datos. Por otro lado, la búsqueda realizada cuando se utilizaron las palabras claves "Degradation and pharmaceutical and photocatalyst" la base de datos que mejor resultado mostró en cuanto a número de artículos, fue la base de datos Science Direct, seguida



por proquest, lo cual se pudo comprobar al revisarlos, se encontró coherencia en el tema interés de esta investigación.

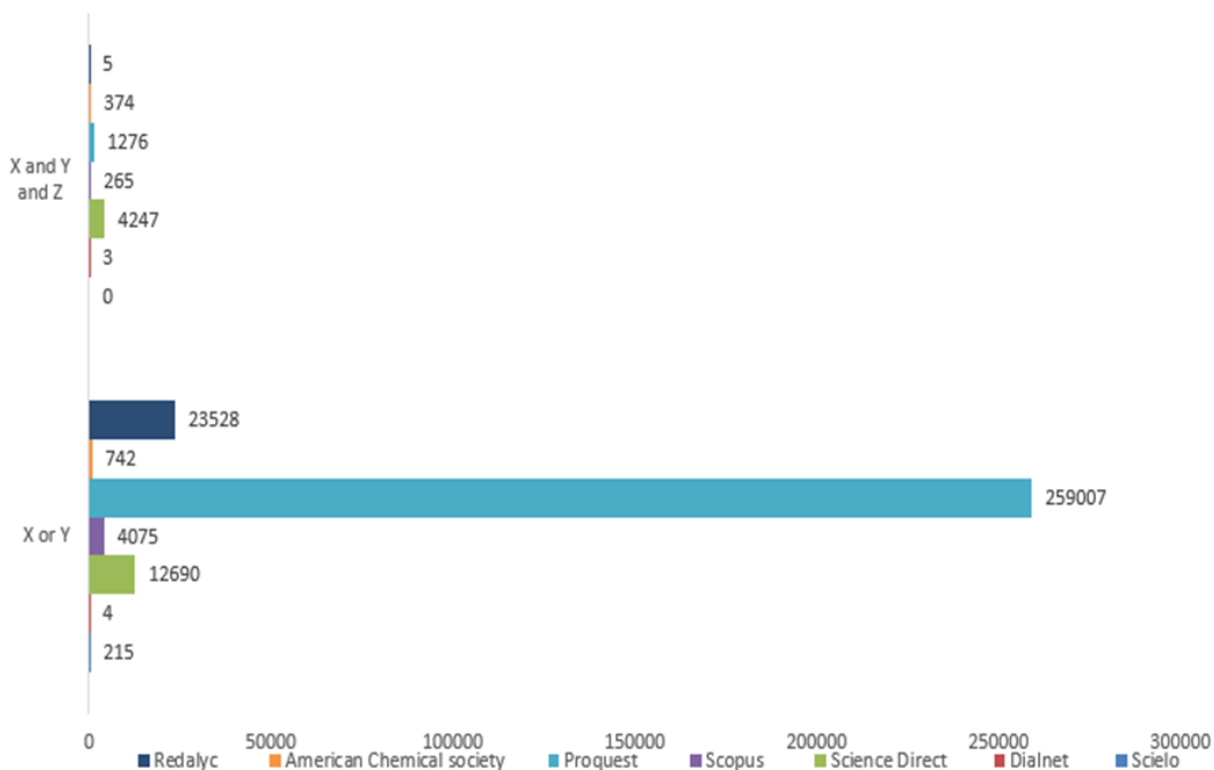
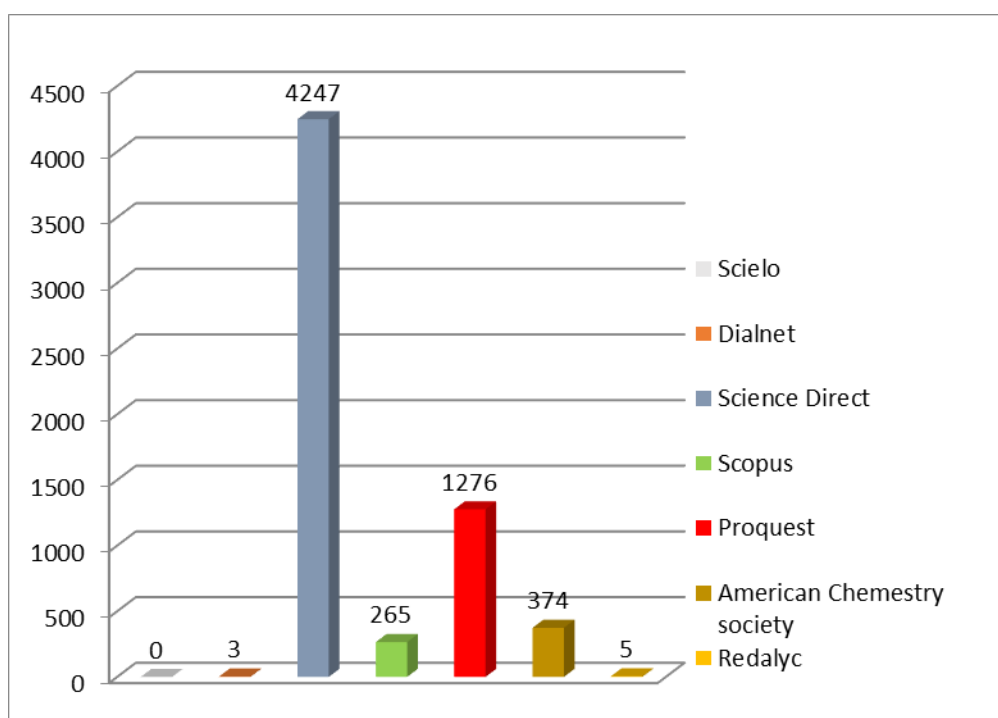


Figura 3. Resultado de las palabras claves con los buscadores booleanos "OR y AND". Los términos degradación de contaminantes=X; Industria farmacéutica=Y, "Fotocatálisis heterogénea = Z Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, en la figura 3, se evidencia la cantidad de referencias clasificados por cada base de datos utilizando la ecuación bibliométrica óptima, donde los términos degradación de contaminantes es X, industria farmacéutica es Y y fotocátalisis heterogénea es Z; es de apreciar que en la base de datos Scielo no se encuentra alguna coincidencia, pudiendo relacionar este resultado con el área de especialidad de la base de datos, donde se cubre una colección selecta de revistas científicas colombianas de todas las áreas del conocimiento, pero con poca

distinción en temas de fotocátalisis heterogénea, no se encuentra porque probablemente el área de peculiaridad de la base de datos no apunta al área de interés de nuestra investigación.

En las bases de datos Dialnet y Redalyc no se logra mayor coincidencia y es un poco mejor en Scopus y American Chemical society, donde se encuentran temáticas sobre química, aplicación de procesos en industria y en cambio en la base de datos proquest y Science Direct, asciende, notándose que en ellas hay una mayor relación frente a la fotocátalisis heterogénea y productos farmacéuticos, analizados desde su impacto medioambiental.



**Figura 4.** Cantidad de referencias por Base de datos utilizando la palabra "Degradation and pharmaceutical and photocatalyst". Fuente: Elaboración propia.

Considerando la relación entre palabras claves y operadores booleanos óptimos previamente descritos, se creó una matriz de estudio (ver anexo tabla 8) la cual está conformada de 254 artículos, los cuales fueron preseleccionados a partir de los resultados anteriores; luego, y

con miras de asegurar que los artículos tuviesen completitud de la información y credibilidad, se aplicó una rúbrica de evaluación de nuestra autoría, la cual consta de 6 ítems: título, DOI, fundamento, metodología, antecedentes y conclusiones.

Cabe destacar que, de los 254 artículos preseleccionados anteriormente, se hizo lectura de cada uno de ellos, de los cuales se seleccionó 54 artículos que cumplieron con la estructura de rúbrica tal como se pudo evidenciar en la tabla 2, de los cuales los mejor puntuados están oscilantes en 40 artículos, los cuales se eligieron para poder hacer la investigación, considerando los aspectos de mayor preeminencia en el área de interés, además, reflexionando sobre la claridad del fundamento, de la metodología y de las conclusiones de cada publicación, la puntuación fue en general 3 y 4 como se observa en la figura 4 y finalmente con estos documentos se realizaron las conclusiones.

En la figura 5, se realizó un análisis gráfico de la puntuación asignada por cada artículo analizado teniendo en cuenta los 6 criterios de la rúbrica de valoración. De los 54 artículos seleccionados en la matriz de referencia, se determinó que 40 de ellos cumplen con las condiciones mínimas solicitadas para llevar a cabo las conclusiones que necesita la investigación que se realizó. Se resalta que se realizaron consultas de manera preliminar que permitieron establecer las variables que intervienen de manera directa en el desarrollo de degradación de contaminantes orgánicos, provenientes de residuos farmacéuticos, y su relación con la fotocatalisis heterogénea: pH, concentración del contaminante, concentración del fotocatalizador, tiempo, temperatura y ciclo de vida del fotocatalizador.

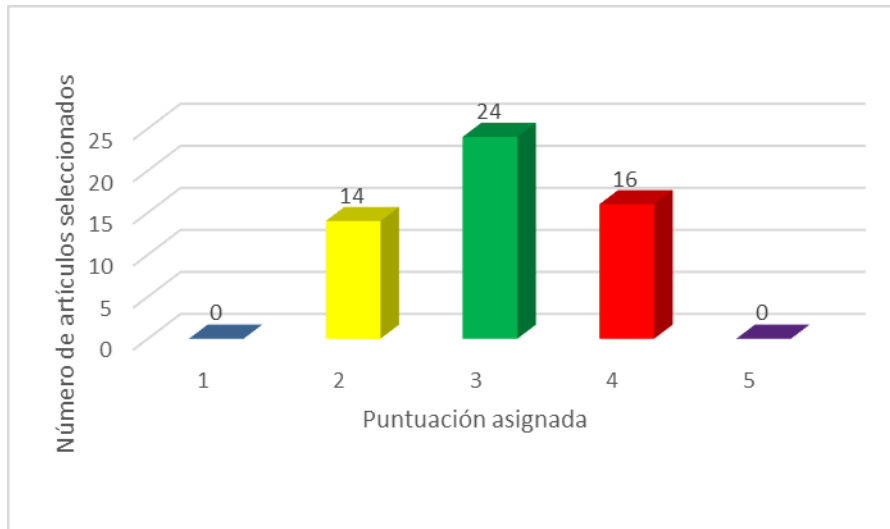


Figura 5. Relación número de artículos vs puntuación. Fuente: Elaboración propia

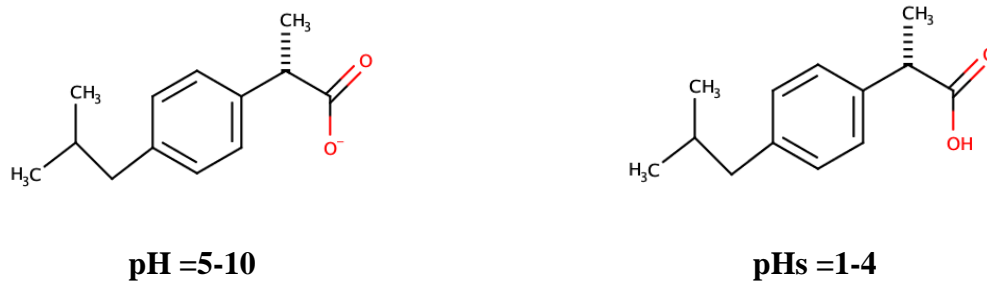
Teniendo en cuentas los artículos seleccionados se procedió a la realización de las variables más significativas dentro del proceso de degradación de aguas residuales farmacéuticas por medio de la fotocátalisis heterogénea, dentro de las variables más significativas se encontró:

### **Variables importantes en el proceso fotocatalítico**

A. pH. Para el análisis de pH se pudo evidenciar a nivel general que, en los procesos de degradación, al tener altos niveles de acidez posiblemente se puede crear un exceso de hidrogeniones en la superficie del material, afectando los procesos de adsorción que ocurren en la superficie del material (Zhao., et al 2019) Además, la naturaleza del contaminante puede generar la formación de microespecies que pueden llevar a un efecto aportante dentro del proceso de fotodegradación.

Un ejemplo claro de esto es la variabilidad del ibuprofeno a diferentes pHs, se puede observar que al tener pHs ácidos que van de 1 a 4 se conserva la especie y luego de pH 5 en

adelante se pierden un protón, haciendo que las condiciones en las que se puede tratar sean distintas.

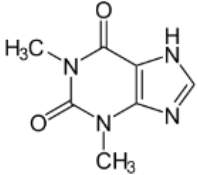
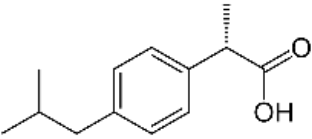
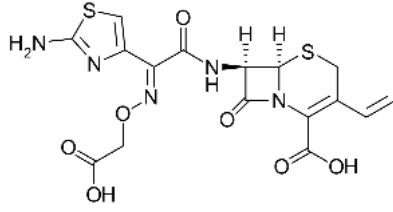
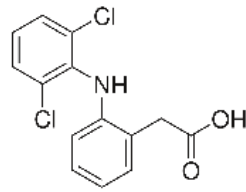
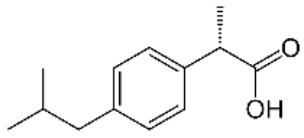


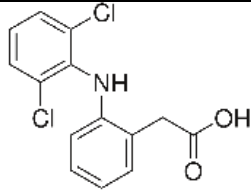
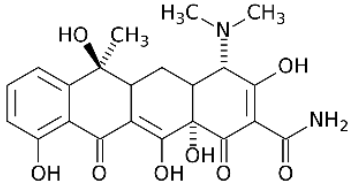
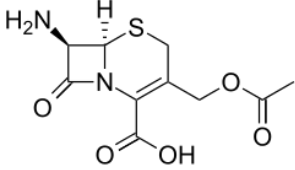
**Fuente:** Elaboración propia.

A nivel general no se establece un pH exacto o un rango explícito, en el que se tiene que trabajar, ya que dependerá de las características de cada contaminante, tal como se describe en la tabla 2, en el cual se puede evidenciar que los autores han podido relacionar que los valores de pH están entre 4, 4.75, 5, 6 y 7; para ello tuvieron en cuenta la naturaleza del fotocatalizador (ya que en varios estudios utilizaron 1, 2 o varios tipos de fotocatalizadores para poder comparar), el potencial de carga z, la adsorción, la mineralización teniendo en cuenta el tiempo, también los efectos sinérgicos de la inhibición de la recombinación de electrones (e<sup>-</sup> y h<sup>+</sup>), el efecto de la luz ultravioleta y la energía solar simulada en tiempo determinado.

Además, la gran mayoría de fármacos son ácidos y bases débiles, por lo que su distribución depende del pH del medio y la constante de acidez (K<sub>a</sub>). Un claro ejemplo de ello, es lo que sucede al ingresar estos contaminantes a ecosistemas acuáticos, la bilis de algunos peces, por su naturaleza lipofílica, constituye una buena matriz para el análisis y biomagnificación de fármacos, asimismo, evidencia que las propiedades fisicoquímicas de los fármacos condicionan su distribución, su bioacumulación y su biomagnificación (Cartagena, 2011).

Tabla 2. Valores de pH reportados en estudios de fotocátalisis heterogénea

Nombre del contaminante	Estructura química	pH	Porcentaje de degradación%	Referencia
Teofilina que contienen las aguas residuales (simulado)		4	95	(Liang., et al 2015)
Ibuprofen o que contienen las aguas residuales (simulado)		6	97	(Liang., et al 2015)
Cefixima en agua residual		5	89	(Pourtaheri., et al 2015)
Diclofenac o en aguas residuales		5	92	(Mugunthan., et al 2018)
Ibuprofen o en aguas residuales (simulado)		7 (neutral)	27	(Lin., et al 2018)

Diclofenac o en agua residual (río)		5	91	(E., et al 2018)
Tetraciclín a en agua residual (ríos y estuarios)		4	94	(Li., et al 2019)
Ácido 7- aminocefalosporáni co (7-ACA) en aguas residuales (simulado)		4.75	84	(Zhao., et al 2019)

**Fuente:** Elaboración propia.

Normalmente, el proceso de fotocátalisis es más eficiente en medio ácido ( $3 \leq \text{pH} \leq 5$ ), según Galvez, et al., 2014., el pH afecta las propiedades superficiales del catalizador y a la forma química del compuesto a degradar, y ello se manifiesta en alteraciones de la velocidad de degradación y en la tendencia a la floculación del catalizador. Particularmente, en la investigación de adsorción y oxidación fotocatalítica del ibuprofeno, se utilizó como un modelo compuesto representativo de (productos farmacéuticos y de uso personal) PPCP y como producto farmacéutico, para evaluar el adsorción y actividad fotocatalítica de los nanocompuestos sintetizados, donde el pH de la solución de ibuprofeno analizada fue neutral y después de 120 minutos de exposición a la luz UV, hay un 27% de degradación de ibuprofeno sin catalizador (Lin, et al., 2018).

B. Concentración del contaminante. En las últimas dos décadas, se han determinado grupos de contaminantes denominados emergentes en aguas residuales crudas y tratadas a

niveles de concentración que van desde  $\mu\text{g/L}$  hasta  $\text{ng/L}$  y que además se califican con una alta persistencia y baja degradación en el medio ambiente (Pourtaheri, et al., 2015) Estos compuestos y sus metabolitos pueden causar efectos toxicológicos a los organismos acuáticos. Por lo tanto, se investiga la presencia de productos farmacéuticos de diferentes clases terapéuticas en aguas residuales crudas y tratadas y aguas superficiales en los diferentes estudios.

En el análisis de la concentración del contaminante, se pudo observar la relación con el porcentaje de degradación, donde varias investigaciones se demuestra que que la concentración inicial del contaminante, a diferentes valores para poder determinar cuál es el más adecuado para una respuesta significativa en términos de degradación. De esta manera, es importante conocer la cantidad inicial del mismo para poder evaluar su comportamiento al final en términos de porcentaje y de esta manera saber si se obtienen buenas remociones. En términos de concentración máxima orgánica de varios cientos de  $\text{mgL}^{-1}$ , los procesos de fotodegradación son razonablemente eficientes cuando la concentración de los contaminantes es baja o media, hasta unos pocos de cientos de ppm de orgánicos. Si bien el límite varía con la naturaleza de los contaminantes, la fotocátalisis no es normalmente una opción conveniente si las concentraciones superan el valor de  $1 \text{ gL}^{-1}$  (a menos que se recurra a una etapa previa de dilución) (Gálvez; et al, 2001).

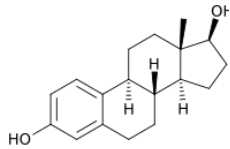
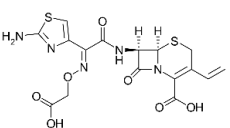
Es así como el diclofenaco a diferentes concentraciones iniciales (10-30  $\text{mg/L}$ ), teniendo en cuenta diferentes dosis de catalizador demostró una buena eficiencia en mineralización demostrado en el carbono orgánico tota TOC del 92% (Mugunthan., et al 2018). En la tabla 3, diversos autores han concentración que varía entre (5  $\text{mg/L}$ -35  $\text{mg/L}$ ) con resultados de fotodegradación que están en el rango de 81% - 100% en el que no se observa una clara tendencia de la concentración con relación al porcentaje de fotodegradación, por lo que

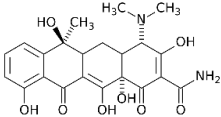
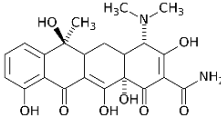
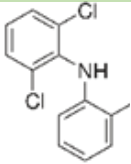
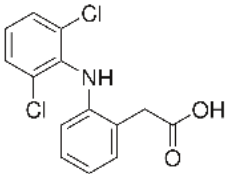
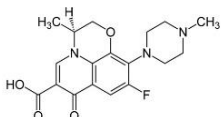
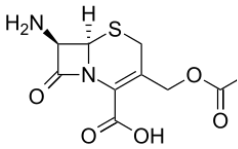


preliminarmente, no se establece que la concentración inicial sea una variable significativa en el proceso de fotodegradación.

Por otro lado, el efecto de la concentración inicial de la solución sobre la tasa de degradación fotocatalítica es investigado en el rango de concentración de soluciones diluidas o poco concentradas ya que en términos de saturación, el número limitado de sitios activos accesibles en la superficie del fotocatalizador, pueden inducir a la formación de intermedios que podrían adsorberse en la superficie del catalizador y desactivar los sitios activos generando un envenenamiento o desactivación de estos sitios activos (Vaez et al., 2012; Chowdhury et al., 2011; Pourtaheri., et al 2015).

Tabla 3. Relación de la concentración del contaminante en procesos fotocatalíticos para contaminantes de origen farmacéuticos

Nombre del contaminante	Estructura química	Concentración del contaminante	Porcentaje de degradación%	Referencia
17- etinilestradiol (EE2) y estriol a nivel de ppm en agua residuales		10 mg /L	92.5	(Ahern., et al 2015)
Cefixima en agua residual		5 mg /L	89	(Pourtahe ri., et al 2015)

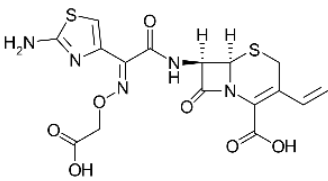
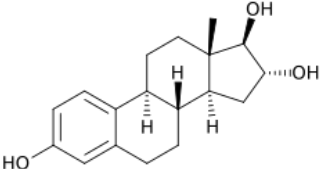
<p>Tetraciclina en aguas residuales por antibióticos</p>		<p>35 mg/L</p>	<p>81</p>	<p>(Jiang., et al 2017)</p>
<p>Tetraciclina en aguas residuales</p>		<p>20 mg/L</p>	<p>89</p>	<p>(Wang., et al 2017)</p>
<p>Diclofenaco en aguas residuales</p>		<p>20 mg/L</p>	<p>92</p>	<p>(Mugunthan., et al 2018)</p>
<p>Diclofenaco en agua residual (rio)</p>		<p>20 mg /L</p>	<p>95</p>	<p>(E., et al 2018)</p>
<p>Levofloxacina en aguas residuales con antibióticos</p>		<p>20 mg/L</p>	<p>100</p>	<p>(Zhou., et al 2019)</p>
<p>ácido 7-aminocefalosporánico (7-ACA)</p>		<p>10 mg/L</p>	<p>84</p>	<p>(Zhao., et al 2019)</p>

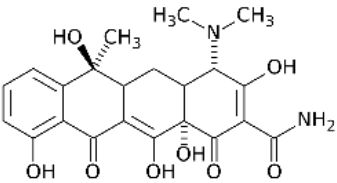
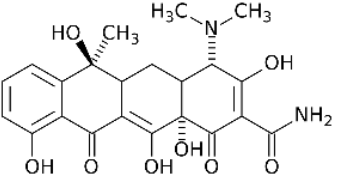
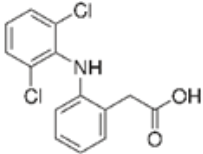
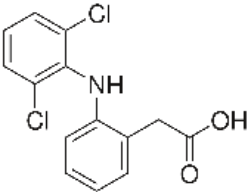
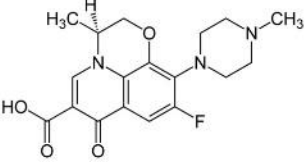
Fuente. Elaboración propia

C. Concentración del fotocatalizador. Los resultados de las investigaciones muestran que el método de síntesis favorece la formación de los fotocatalizadores, además la proporción de fases cristalinas en cada formulación cambia en función del contenido del catalizador utilizado, es decir generalmente cuanto mayor sea la dosis del catalizador, mayor será en principio la eficiencia obtenida, si bien el efecto de la turbidez ocasionada por sus partículas también aumenta, dificultando la difusión de la luz ultravioleta (Garcés, 2004).

De los resultados se observa que los fotocatalizadores presentan relación de qué manera son irradiados, con luz solar, muestran un incremento en su actividad fotocatalítica, en el caso de irradiación con luz ultravioleta, para la degradación de algunos fármacos, se observó un comportamiento selectivo en función del contenido de ciertas concentraciones (Casados., et al., 2016).

**Tabla 4.** Concentración del fotocatalizador usado en reacciones fotocatalíticas

Nombre del contaminante	Estructura química	Concentración del fotocatalizador	Porcentaje de degradación	Referencia
Cefixima en agua residual		250 mg/L	89	(Poutraheri., et al 2015)
17- etinilestradiol (EE2) y estriol a nivel de ppm en agua residual		500 mg/L	92.5	(Ahern., et al 2015)

Tetraciclina en aguas residuales		100 mg/L	89	(Wang, et al 2017)
Tetraciclina en aguas residuales por antibióticos		40 mg/L	81	(Jiang, et al 2017)
Diclofenaco en aguas residuales		600 mg/L	92	(Mugunthan, et al 2018)
Diclofenaco en agua residual (rio)		600 mg/L	95	(Ebrahimi, et al 2018)
Levofloxacin en aguas residuales con antibióticos		50 mg/L	100	(Zhou, et al 2019)

**Fuente.** Elaboración propia

Según los autores, los valores de concentración del fotocatalizador están entre 40 mg/L - 600 mg/L, destacándose que a menor concentración del fotosensibilizador hay mejor fotodegradación teniendo en cuenta, sin desestimar que las condiciones de operación generan un efecto trascendente en los resultados del proceso.

Otro aspecto a resaltar en los artículos analizados, es que la porosidad interna y la distribución uniforme del tamaño de las partículas, facilita el proceso de adsorción, por ello,

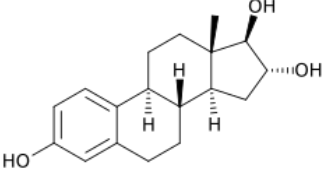
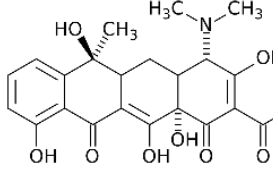
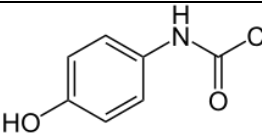
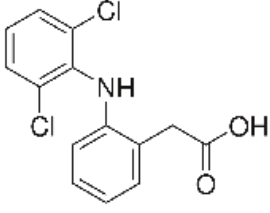
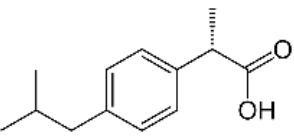
normalmente, se emplean polvos micrométricos para este tipo de tratamientos. Un ejemplo claro es la anatasa, ya que debido a la forma cristalina posee mejores propiedades fotocatalíticas y esto ha sido atribuido, entre otras razones, a la mayor capacidad de fotoadsorción de la anatasa por oxígeno molecular y sus formas ionizadas y a su baja rapidez relativa de recombinación de pares hueco-electrón. Las partículas están formadas por cristales que, en general, presentan una amplia variedad de defectos que determinan de manera importante su reactividad química.

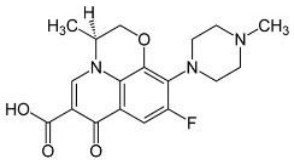
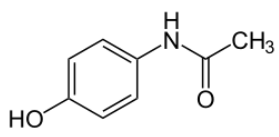
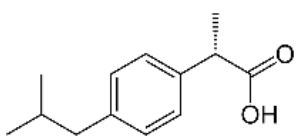
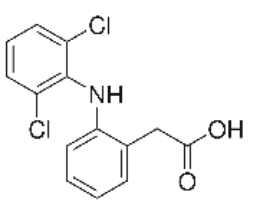
D. Tiempo de reacción. Para el análisis del tiempo se pudo evidenciar como afecta lo procesos de degradación a nivel general, observando como al utilizar unas veces más tiempo que en otros estudios, provoca un cambio significativo, esta afirmación se apoya de los resultados encontrados en la tabla 5, en donde la degradación fotocatalítica está condicionada con un tiempo, siendo una variable que determina el proceso en cuanto a eficiencia, tipo de fotocatalizador, concentración de contaminante y fotocatalizador y provoca relación estrecha con el ciclo de vida que tienen los fotocatalizadores en cada proceso.

Por supuesto la variable tiempo, como lo señalan los autores en estas investigaciones expresados en unidad de minutos, se mostró una variación desde 20,30, 90, se obtienen altos porcentajes de degradación de los contaminantes, y comparando con los rangos de tiempo desde 180 y 360 min que es donde se muestra un resultado un tanto menor, es posible que se tenga en cuenta la relación con las demás variables, que de una u otra manera trabajan en sinergia con la variable tiempo ya sea para favorecer o no el resultado esperado.

Es así como se observó la diferencia en tiempos de 240 y 360, también hay resultados altos en cuanto a la eficiencia, donde se pueden tener en cuenta la naturaleza del contaminante que en varios estudios es el mismo.

Tabla 5. Valor del tiempo para procesos fotocatalíticos para contaminantes farmacéuticos

Nombre del contaminante	Estructura química	tiempo	Porcentaje de degradación%	Referencia
17- etinilestradiol (EE2) y estriol a nivel de ppm en agua residual		3 0 minutos	92.5	(Aher n., et al 2015)
Tetraciclina en aguas residuales por antibióticos		9 0 minutos	81	(Jian g., et al 2017)
Paracetamol (PAR)		9 0 minutos	99.6	(Abd el-Wahab., et al 2017)
Diclofenaco en aguas residuales (rio)		2 40 minutos	95	(E., et al 2018)
Ibuprofeno en aguas residuales (simulado)		1 80 minutos	27	(Lin., et al 2018)

Levofloxa cina en aguas residuales con antibióticos		2 0 minutos	100	(Zho u., et al 2019)
Paracetam ol (PAR) en aguas residuales (simulado)		3 60 min	100	(Smý kalová et al., 2019)
Ibuprofen o (IBU) en aguas residuales (simulado)		3 60 min	100	(Smý kalová et al., 2019)
Diclofena co (DIC) en aguas residuales (simulado)		3 60 minutos	73	(Smý kalová et al., 2019)

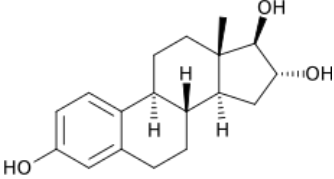
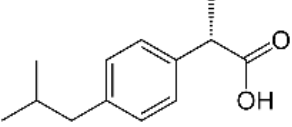
Fuente. Elaboración propia.

E. Ciclo de vida del fotocatalizador. Con el desarrollo de la industria y la población, la crisis energética y La contaminación ambiental ha influido directamente en nuestras vidas, es ampliamente aceptado que los fotocatalizadores son materiales importantes para lograr una futura sociedad sostenible con un ambiente amigable. Sin embargo, desarrollar materiales fotocatalizadores estables que puedan utilizar eficientemente la energía solar para una aplicación práctica es un gran desafío técnico, por lo tanto, es factible y significativo desarrollar un fotocatalizador con una fuerte capacidad de adsorción.

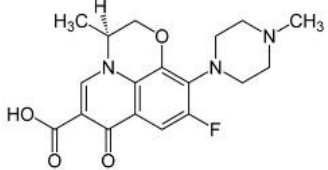
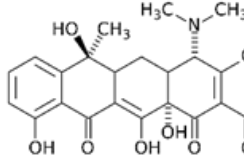
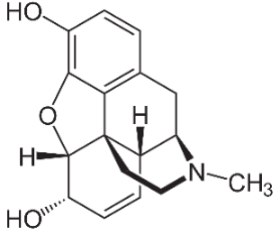
El ciclo de vida del fotocatalizador se relaciona con la adaptación de filtros especiales de vidrio a la lámpara para evitar el paso de luz de longitudes de onda inferiores a 290 nm en muchos estudios y la potencia de la lámpara se ajusta en rangos por ejemplo de 290 a 800 nm, también la radiación UV (290 a 400 nm), la potencia de la lámpara durante el tiempo de tratamiento (Maldonado, 2015).

Con esta variable se evalúa el procedimiento de repeticiones, para controlar que no se pierda el fotocatalizador, para que la muestra se pueda evaluar tanto al principio como al final y poder observar que el peso del fotocatalizador junto con el mismo volumen de contaminantes es el mismo o cambia (Grimalt et al., 2019).

**Tabla 6.** Ciclo de vida del fotocatalizador

<b>Nombre del contaminante</b>	<b>Estructura química</b>	<b>Ciclo de vida del fotocatalizador</b>	<b>Porcentaje de degradación</b>	<b>Referencia</b>
17- etinilestradiol (EE2) y estriol a nivel de ppm en agua residual		8 ciclos	92.5	(Ahern., , et al 2015)
Ibuprofen o en aguas residuales (simulado)		16 ciclos	27	(Lin., et al 2018)



Levofloxa cina en aguas residuales con antibióticos		6 ciclos	100	(Zhou., et al 2019)
Tetraciclina en aguas residuales farmacéuticas		4 ciclos	93.2	(Wang., , et al 2019)
Morfina en aguas residuales farmacéuticas		5 ciclos	93.2	(Azizi., et al 2019)

Fuente. Elaboración propia.

Como ya se ha visto, una de las principales ventajas de trabajar en heterogéneo es la reutilización del fotocatalizador. En algunos ensayos se ha probado a realizar varios ciclos de irradiación con el mismo soporte (Grimalt; et al, 2019).

En primera instancia, los autores reportan que los fotocatalizadores realizan 4, 5, 6, 8 y 16 ciclos, indicando el número de veces que se puede usar cada fotocatalizador y si después de usarse se puede evaluar si cada catalizador funciona mejor que los rayos UV o no. También se tiene relación con la suspensión, la agitación, el tiempo para alcanzar el equilibrio de adsorción-desorción. También se pudo observar que todos los experimentos de adsorción, fotólisis y degradación fotocatalítica se realizaron al menos dos veces en cada condición para garantizar reproducibilidad de los resultados (Lin., et al 2018). Además, para calcular la eficiencia en base

cuantitativa, para la degradación de varios contaminantes, donde se llevaron a cabo un análisis completo de la interacción de la materia ligera en el sistema de reacción, así como la respuesta química de los catalizadores que miden la actividad de reacción y la selectividad (Muñoz., et al 2017).

Finalmente, los fotocatalizadores se confirman a partir de la cinética de adsorción y las isothermas medidas, exhiben un comportamiento de adsorción, el análisis de la estructura de la banda revela el eficiente mecanismo de separación y transmisión de electrones y agujeros fotogenerados. En este sentido, la tecnología fotocatalítica basada en fotocatalizadores de semiconductores ha demostrado gran potencial de aplicación. En algunos estudios, ha demostrado que la luz (200-780 nm) es capaz de descomponer antibióticos por fotólisis directa o indirecta a través de un AOP. La cantidad de la concentración del catalizador cuando se aumenta muestra un crecimiento en la degradación del contaminante, que probablemente se atribuye a que el exceso de catalizadores bloquea la luz, compensando así el efecto fotocatalítico (Wang., et al 2019).

F. Tipo de fotocatalizador. La presencia de productos farmacéuticos y sus metabolitos en el agua está comenzando a ser un problema grave para humanos y animales, estos compuestos llegan a los cuerpos de agua de varias fuentes, como eliminación de hospitales y hogares, excreciones de humanos y animales, y es importante desarrollar tecnologías nuevas y efectivas para su eliminación de las aguas residuales y de todo ecosistema acuático. Se han publicado numerosos artículos sobre este tema en la última década y el esfuerzo por utilizar la fotodegradación para la eliminación de productos farmacéuticos se refleja en una serie de artículos científicos que a menudo tratan con diversos fotocatalizadores como se observa en las tablas a continuación.

Tabla 7. Tipo de fotocatalizadores usados en los procesos de fotodegradación de contaminantes farmacéuticos

<b>Catalizadores basados en TiO<sub>2</sub></b>			
<b>Nombre del contaminante</b>	<b>Tipo de fotocatalizador</b>	<b>Porcentaje de degradación%</b>	<b>Referencia</b>
Tetraciclina en aguas residuales	TiO <sub>2</sub> @ g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (TCN)	89	(Wang., et al 2017)
Paracetamol	TiO <sub>2</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99.6	(Abdel-Wahab., et al 2017)
Fluoroquinolona en agua residual	Grafeno-TiO <sub>2</sub>	99.4	(He., et al 2019)
<b>Catalizadores basados en TiO<sub>2</sub> nano particulado</b>			
Paracetamol (PAR) en aguas residuales (simulado)	g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (nitruro de carbono grafitico) y Nanomateriales de TiO <sub>2</sub>	100	(Smýkalová et al., 2019)
Ibuprofeno (IBU) en aguas residuales (simulado)	g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> y Nanomateriales de TiO <sub>2</sub>	100	(Smýkalová et al., 2019)
Diclofenaco (DIC) en aguas residuales (simulado)	g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> y Nanomateriales de TiO <sub>2</sub>	73	(Smýkalová et al., 2019)
<b>Catalizadores tipo perovskita</b>			

Tetraciclina en aguas residuales por antibióticos	óxido de perovskita/g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	81	(Jiang., et al 2017)
<b>Catalizadores tipo microesferas jerárquicas</b>			
Monoclorofe nol en aguas residuales	BiPO <sub>4</sub> /β- Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	90	(Sun., et al 2019)
<b>Catalizadores tipo efecto plasmónico</b>			
Levofloxacin a en aguas residuales con antibióticos	Cu <sub>2-x</sub> S/g- C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> nanodots plasmónicos	100	(Zhou., et al 2019)
<b>Catalizadores tipo Oxihaluros de Bismuto</b>			
17- etinilestradiol (EE2) y estriol a nivel de ppm en agua residual	BiOX (oxihaluro de bismuto)	92.5	(Ahern., et al 2015)

Fuente. Elaboración propia.

Fundamentalmente, antes de los experimentos fotocatalíticos, los nanomateriales se caracterizaban por métodos comunes, como la difracción de rayos X (XRD), la espectroscopía de reflectancia difusa UV-VIS (DRS), la espectroscopía infrarroja transformada en modo de reflexión total atenuada (FTIR-ATR), el electrón de transmisión microscopía (TEM), fisisorción de nitrógeno y adsorción dinámica de vapor (DVS) de agua, es así como los autores mostraron que g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> es un fotocatalizador prometedor para la degradación de productos farmacéuticos en un ambiente acuoso, bajo luz visible. el paracetamol y el ibuprofeno se eliminaron por completo, pero los intermedios de diclofenaco se observaron incluso después de 6 h de irradiación, también

se identificaron algunos intermedios, como el ácido carbazol-1-acético, la 2,6-dicloranilina y los derivados hidroxilados de diclofenaco (Smýkalová et al., 2019).

La observación interesante es como el efecto sinérgico de varios compuestos, conducen a una separación mejorada de electrones fotoinducidos y agujeros. Lo que indica que la heterounión de varios esquemas proporcionan una relación respetuosa con el medio ambiente y magnéticamente recuperable es un fotocatalizador prometedor para el tratamiento de aguas residuales.

Se puede señalar un caso en particular, donde los intermedios de fotodegradación de diclofenaco se identificaron por medio de cromatografía de gases/masa (GC-MS), la 2,6-dicloranilina podría surgir de la oxidación en el átomo de nitrógeno de diclofenaco y varios derivados hidroxilados de diclofenaco, como 2-[(2,6-diclorofenil) amino] (también se identificó el ácido 5-hidroxifenilacético), mostrando de esta manera como otros intermedios se formaron por diversas reacciones, lo cual provoca algún tipo de relación con los resultados obtenidos, ya que siendo la misma investigación, se producen diferentes porcentajes de degradación.

### **Comparación de la eficiencia mediados por procesos fotocatalíticos**

Para mostrar el mérito de los Procesos de Oxidación Avanzada (POAs) se puede resaltar su desarrollo, especialmente, para dos razones, a saber (a) la diversidad de tecnologías involucradas y (b) las áreas de aplicación potencial, como se expone en la tabla 8. Dentro de los métodos de procesos de oxidación avanzada se destaca: fotocatalisis heterogéneos y homogénea basada en luz ultravioleta (UV) o el uso de paneles solares, irradiación visible, electrólisis, ozonización, reactivo de Fenton, ultrasonido y oxidación con aire húmedo, también se incluyen radiación ionizante, microondas, plasma pulsado y el reactivo de ferrato (Klavarioti, et al., 2019).

Aunque el tratamiento de aguas potables y aguas residuales es el área más común para la investigación y el desarrollo, los POAs se ha encontrado aplicaciones tan diversas como el tratamiento de aguas subterráneas, remediación de suelos, acondicionamiento de lodos de aguas residuales municipales, producción de agua pura y tratamiento de compuestos orgánicos volátiles y control de olores. Sin embargo, el principal interés de esta investigación es la aplicación en aguas residuales farmaceuticas, en la tabla 8, se realiza una comparación de estudios que se han realizado para aguas residuales farmaceuticas haciendo uso de diferentes Procesos de Oxidación Avanzada.

Tabla 8. Comparación de la eficiencia de diferentes procesos de oxidación avanzada para la degradación de contaminantes farmaceuticos

<b>Referencia</b>	<b>Proceso de oxidación aplicado</b>	<b>Porcentaje de degradación</b>
(Mirzaei et al., 2017)	Procesos de tipo Fenton homogéneos (FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O)	84%
	Procesos de tipo Fenton heterogéneos (FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O)	100%
(Kanakaraju, et al., 2018)	Ozonation	> 99.9%
	UV / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	93.30

---

(Mondal, et al., 2018)		
	Lodo activado con UVC	81
(Khan et al., 2019)	/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
		100
Anjali, R & Shanthakumar, S. (2019)	UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>2+</sup>	

---

Fuente. Elaboración propia.

A nivel general dentro de los procesos de oxidación avanzados (POA) revisados se evidencia una alta de degradación los cuales varían entre el 80%-100% y dependiendo de cada uno se tiene mecanismos de reacción distintos, pero con una alta predominancia de la formación del radical hidroxilo. Cabe destacar que la principal limitación para algunas de estas tecnologías se puede relacionar con sus altos costos operativos, asociado con el consumo de energía y la utilización de productos químicos, un claro ejemplo de esta sonolisis, dado que el tipo de reactores que deben usarse representa una tecnología altamente costosa comparada con otros métodos.

Otro método considerado de alta efectividad, son los procesos basados en Fenton, ya que los reactivos usados para la preparación del mismo, son no tóxicos, baratos y comunes y potencialmente puede implementarse con el uso de paneles solares, reducirán considerablemente el costo de remoción de contaminantes recalcitrantes, sin embargo, dentro de sus desventajas de los procesos homogéneos de Fenton, generan altas cantidades de lodo que contiene hierro y un rango operativo limitado de pH (Mirzaei, et al., 2017).

Otro metodo a destacar dentro del listado es la ozonización, tanto de forma individual asi como combinados (Kanakaraju et al., 2018), por ejemplo en la aplicación combinada con procesos biologicos (Marcelino et al., 2017), pero dentro de las dificultades que presenta la tecnologia es la generación de lodos activos (Domenjoud et al., 2017), pero al operarse representa riesgos para la salud además que reacciona con agua que contiene bromito y produce bromato que es un potencial carcinógeno humano genotóxico (Von Gunten y Hoigné, 1994; Kurokawa y col. 1990; Aljundi, 2011; Mondal, 2018).

Finalmente, comparando estos resultados con la fotocatalisis heterogenea, el  $\text{TiO}_2$  es un fotocatalizador de bajos costos, además no es necesario que se piense como metodo terciario, no tiene limitaciones restrictivas de pH, convirtiendose en un metodo competitivo con otros POAs.



## **Conclusiones**

La fotocátalisis heterogénea como tecnología para degradar residuos farmacéuticos en aguas residuales, muestra tener muy buenos porcentajes de degradación lo cual es una alternativa que ha sido y sigue siendo buena aportes significativos para este tipo de problemáticas ambientales.

Se logró realizar una búsqueda bibliográfica que permitiera establecer cuáles son los avances que se han realizado frente a la aplicación de procesos fotocatalíticos para el tratamiento de aguas residuales farmacéuticas.

Al recopilar la información relacionada con el proceso de fotocátalisis heterogénea en aguas residuales, haciendo uso de bases de datos reconocidas en el área temática de interés, se evidencia cuales muestran un resultado mejor, utilizando los buscadores booleanos OR y AND, mostrando proquest y Science Direct entregan un mejor resultado, notándose que en ellas hay una mayor relación frente a la fotocátalisis heterogénea y productos farmacéuticos, analizados desde su impacto medioambiental. Siendo de esta manera la oportunidad para poder comparar la heterogeneidad de los resultados cuando la exploración se hace más específico.

Teniendo en cuenta la información recopilada para establecer las variables de mayor significancia en el proceso de fotocátalisis heterogénea en aguas residuales, relacionadas con la matriz de estudio, el pH es aquella que muestra una relación muy estrecha con las demás variables, como la concentración del contaminante y del fotocatalizador, determinando la presencia de grupos de contaminantes denominados emergentes en aguas residuales, manifestando también las propiedades superficiales del catalizador y a la forma química del compuesto a degradar, esto se puede evidenciar en diferentes autores.

En términos de comparar los resultados en términos de eficiencia mediados por procesos fotocatalíticos con relación a otros procesos de oxidación avanzada aplicados para la matriz de estudio se encuentra en la literatura de los últimos 5 años, como una de las variables denominada tipo de fotocatalizadores usados en los procesos de fotodegradación de contaminantes farmacéuticos, exponen una degradación mayor cuando se utilizan catalizadores tipo efecto plasmónico y basados en TiO<sub>2</sub> nanoparticulado, según lo describen autores de estudios realizados en el año 2019.

## **Referencia Bibliográfica**

Abadal, E., & Codina, L. (2005). Bases de datos documentales: características, funciones y método.

Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2445/141978>

Abdel-Wahab, A.-M., Al-Shirbini, A.-S., Mohamed, O., & Nasr, O. (2017). Photocatalytic degradation of paracetamol over magnetic flower-like TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> core-shell nanostructures. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 347, 186–198. doi:

10.1016/j.jphotochem.2017.07.030

Ahern, J. C., Fairchild, R., Thomas, J. S., Carr, J., & Patterson, H. H. (2015). Characterization of BiOX compounds as photocatalysts for the degradation of pharmaceuticals in water. *Applied Catalysis B: Environmental*, 179, 229–238. doi:10.1016/j.apcatb.2015.04.025

Albin, R. (1975). Determinación del pH en diversas especies de los renovales de la provincia de Valdivia. *Bosque*, 1(1), 3-5. Recuperado de: <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v1n1/art02.pdf>

Akmehmet Balcıoğlu, I., Arslan Alaton, I., Ötker, M., Bahar, R., Bakar, N., & Ikiz, M. (2003).

Application of advanced oxidation processes to different industrial wastewaters. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 38(8), 1587-1596. Recuperado de:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/ESE-120021482>

Alvariño, C. R. (2006). Los residuos en la industria farmacéutica. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 37(1), 25-31. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181220542005.pdf>

American Chemical Society. (1876). American Chemical Society [base de datos]. Recuperado de:

<https://pubs-acsc-org.ezproxy.unal.edu.co/>

- Anjali, R., & Shanthakumar, S. (2019). Insights on the current status of occurrence and removal of antibiotics in wastewater by advanced oxidation processes. *Journal of Environmental Management*, 246, 51–62. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.090
- Avelar-Rodríguez, D., & Toro-Monjaraz, E. M. (2018). PubMed: Clinical Queries, Terminología MeSH y Operadores Booleanos. *Revista de Medicina Clínica*, 2(3), 96-100.
- Azizi-Toupkanloo, H., Karimi-Nazarabad, M., Shakeri, M., & Eftekhari, M. (2019). Photocatalytic mineralization of hard-degradable morphine by visible light-driven Ag@g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanostructures. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-019-06274-9
- Barrios, J., Yopez, J. (2010). Evaluación del modelo de la cinética de degradación fotocatalítica solar en un reactor CPC de un pesticida usado en el baño de ganado. Trabajo de Grado Programa de Ingeniería Química - Universidad De Cartagena, 66.
- Carrasco, J. D. C. R., Delgado, C. Y. S., & Cobos, D. F. O. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. Emerging contaminants and its impact on the health. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca*, 35(2), 55-59.
- Cartagena, C. J. (2011). Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. *Revista lasallista de investigación*, 8(2), 143-153. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4315762>
- Casados, D. A. S., Cobos, A. A., Oliván, L. M. G., Klimova, T., & Alarcón, L. E. (2016). Síntesis de catalizadores basados en TiO<sub>2</sub> modificado con Sn: Caracterización y evaluación de su desempeño fotocatalítico en la degradación de AINEs presentes en aguas residuales. *Superficies y vacío*, 29(1), 24-31.

- Castellar Ramos, M. I., & Osorio Tamayo, J. C. (2012). Estado del arte de la fotocatalisis solar como técnica para la remoción de efluentes químicos provenientes de laboratorios. Recuperado de: <http://repositorios.rumbo.edu.co/handle/123456789/96562>
- Castillo, A. U. (2016). Regeneración de aguas depuradas mediante fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio: Análisis de variables influyentes. Recuperado de: <http://invenio2.unizar.es/record/57475/files/TAZ-TFG-2016-444.pdf>
- Chinnaiyan, P., Thampi, S. G., Kumar, M., & Balachandran, M. (2018, October 1). Photocatalytic degradation of metformin and amoxicillin in synthetic hospital wastewater: effect of classical parameters. *International Journal of Environmental Science and Technology*.  
<https://doi.org/10.1007/s13762-018-1935-0>
- Colborn, T., Vom, F., & Soto, A. (1993). *Developmental Effects of Endocrine-Disrupting Chemicals in Wildlife and Humans*. Division of Biological Sciences and John M. Dalton Research Center, University of Missouri, Columbia; Department of Anatomy and Cellular Biology, Tufts University, Boston.
- Colina, J. y Castilla, D. (2013). Mineralización fotocatalítica de agua residual contaminada con dicloxacilina comercial en un reactor solar CPC a escala piloto. *Ingeniería y Competitividad*, volumen 15 (número 1), 161-169.
- Colmenares, J. C., Kuna, E., Jakubiak, S., Michalski, J., & Kurzydłowski, K. (2015). Polypropylene nonwoven filter with nanosized ZnO rods: Promising hybrid photocatalyst for water purification. *Applied Catalysis B: Environmental*, 170-171, 273–282. doi:10.1016/j.apcatb.2015.01.031

Cristancho Segura, J. G. (2016). Decoloración fotocatalítica del colorante orange ii mediante uso de ceniza volante (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá).

Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/55954/>

Cruz, C. (2013). Relación entre la temperatura y actividad fotocatalítica de un sistema de fotocatalisis mediante proceso fenton con UV. Recuperado de:

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16545/RicoCruzCamiloJose2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Deng, Y. & Zhao, R. (2015). Procesos avanzados de oxidación (AOP) en el tratamiento de aguas residuales. Informes actuales de contaminación, 1 (3), 167-176. Recuperado de:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s40726-015-0015-z>

Duarte Beltrán, C. X., & Forero Ausique, V. F. (2008). Evaluación de un sistema de oxidación por fotocatalisis para la degradación del plaguicida thiodan 35 ec (ia Endosulfán) a nivel de laboratorio. Recuperado de:

[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1288&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1288&context=ing_ambiental_sanitaria)

E., M., M.B., S., & P.E., J. (2018). Visible light assisted photocatalytic degradation of diclofenac using TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> mixed oxide catalysts. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 10, 322–330. doi:10.1016/j.enmm.2018.07.012

Elsevier Science. (1998). Science Direct [base de datos]. Recuperado de: <https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/>

Elsevier. (2004). Scopus [base de datos]. Recuperado de: <https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/search/form.uri?display=basic>

- Escuadra, S., Gomez, J., Ormad, M. P., & Lasheras, A. M. (2017). Tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria farmacéutica mediante nano-fotocatálisis con TiO<sub>2</sub> (No. ART-2017-100505). Recuperado de: <https://zaguan.unizar.es/record/61884/>
- Espinosa Ortiz, C. E. (2014). Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes.
- Estrada, A., Ortega, J., Cardenas, U., Enamorado, G., & Marrugo, J. (2019). Fotocatálisis heterogénea para el tratamiento de aguas residuales generadas en el baño del ganado. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2). Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2683>
- Ferreras-Fernández, T. (2016). Visibilidad e impacto de la literatura gris científica en repositorios institucionales de acceso abierto. Estudio de caso bibliométrico del repositorio Gredos de la Universidad de Salamanca (Doctoral dissertation). Recuperado de: <https://repositorio.grial.eu/handle/grial/779>
- Forero, J. E., Ortiz, O. P., & Rios, F. (2005). Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. *CT&F-Ciencia, tecnología y futuro*, 3(1), 97-109. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5513926>
- Fundación Dialnet, de la Universidad de La Rioja. (2009). Dialnet [base de datos]. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/>
- Fundación para el Apoyo a la Investigación. (1997). Scielo [base de datos]. Recuperado de: <https://scielo.org/>
- Gálvez, J., Rodriguez, S., Gasca, C., Gelover, S., Bandala, E., Leal, T. (2014). Purificación de aguas por fotocátalisis heterogénea: estado del arte. Capítulo 3. Recuperado de: <https://www.psa.es/en/projects/solwater/files/CYTED01/08cap03.pdf>

- Garcés Giraldo, L. F., Franco, M., Alejandro, E., & Santamaría Arango, J. J. (2004). La fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Recuperado de:  
<http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/195>
- Garcés L., Mejia E., Santamaria J. (2004). La fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación, volumen 1, 83-92.
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2013). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. Producción+ limpia, 7(2). Recuperado de:  
<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/265/126>
- Grimalt Ribes, J. (2019). Síntesis, caracterización y aplicación de nuevos fotocatalizadores heterogéneos derivados de eosina Y en la fotodegradación de contaminantes procedentes de la agricultura  
Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/115350>
- He, G., Nan, J., Huijuan, W., Kefeng, S., Na, L., Jie, L & Yan, W. (2019). Enhanced catalytic performance of graphene-TiO<sub>2</sub> nanocomposites for synergetic degradation of fluoroquinolone antibiotic in pulsed discharge plasma system. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.01.052>.
- Hutton, B., López, F., Mohera, D. (2016). La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA. The PRISMA statement extension for systematic reviews incorporating network meta-analysis: PRISMA-NMA. Departamento de Medicina, Universidad de Valencia/CIBERSAM e Instituto de Investigación Sanitaria (INCLIVA), Valencia, España.
- Henríquez Villa, D. (2012). Presencia de contaminantes emergentes en aguas y su impacto en el ecosistema. Estudio de caso: productos farmacéuticos en la cuenca del río Biobío, Región del Biobío, Chile. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102748>



Hernando Ortega, N. (2017). Estudio de la eliminación de Diclofenaco en aguas residuales mediante fotocátalisis heterogénea con TiO<sub>2</sub>. Recuperado de:

<http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/26959/TFG-I-776.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

JAIMES, J. A. R. (2019). Investigación y evaluación de contaminantes emergentes (productos farmacéuticos) presentes en la cuenca del río apatlaco en el estado de morelos. Recuperado de:

URI: <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/430>

Javier. (2019). ¿Qué es Google Académico? Buscador especializado en artículos académicos. Promerits.

Recuperado de: <https://promerits.org/que-es-google-academico-buscador-especializado-articulos-academicos/>

Jiang, J., Zhou, Z., Sharma, V. (2013). Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water — A review from global views.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2013.04.014>

Jiang, D., Wang, T., Xu, Q., Li, D., Meng, S., & Chen, M. (2017). Perovskite oxide ultrathin nanosheets/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 2D-2D heterojunction photocatalysts with significantly enhanced photocatalytic activity towards the photodegradation of tetracycline. Recuperado de: doi:

10.1016/j.apcatb.2016.09.001

K. Ikehata, N. J. Naghashkar and M.G. El-Din, 2007. Degradation of Aqueous Pharmaceuticals by Ozonation and Advanced Oxidation Processes, Science & Engineering Canadá. 28, 353-414.

Kanakaraju, D., Glass, B. D., & Oelgemöller, M. (2018). Advanced oxidation process-mediated removal of pharmaceuticals from water: A review. Journal of Environmental Management, 219, 189–207.

doi:10.1016/j.jenvman.2018.04.103

- Khan, M. F., Yu, L., Achari, G., & Tay, J. H. (2019). Degradation of sulfolane in aqueous media by integrating activated sludge and advanced oxidation process. *Chemosphere*.  
doi:10.1016/j.chemosphere.2019.01.097
- Klavarioti, M., Mantzavinos, D., & Kassinos, D. (2009). Removal of residual pharmaceuticals from aqueous systems by advanced oxidation processes. *Environment International*, 35(2), 402–417.  
doi:10.1016/j.envint.2008.07.009
- Lerici, L., Femanelli, C., Diguilio, E., Pierella, L., & Saux, C. (2018). Síntesis y caracterización de fotocatalizadores de hierro soportado sobre zeolitas microporosas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23(2). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0450>
- Li, C., Hu, R., Lu, X., Bashir, S., & Liu, J. L. (2019). Efficiency enhancement of photocatalytic degradation of tetracycline using reduced graphene oxide coordinated titanitic nanoplatelet. *Catalysis Today*. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.06.038>
- Liang, R., Luo, S., Jing, F., Shen, L., Qin, N., & Wu, L. (2015). A simple strategy for fabrication of Pd@MIL-100(Fe) nanocomposite as a visible-light-driven photocatalyst for the treatment of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs). Recuperado de:  
<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.apcatb.2015.04.009>
- Lin, L., Jiang, W., Bechelany, M., Nasr, M., Jarvis, J., Schaub, T., ... Xu, P. (2019). Adsorption and photocatalytic oxidation of ibuprofen using nanocomposites of TiO<sub>2</sub> nanofibers combined with BN nanosheets: Degradation products and mechanisms. *Chemosphere*, 220, 921–929.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.184>
- Maldonado, M., Suárez, S., Miranda, N. (2015). Degradación de contaminantes emergentes mediante TiO<sub>2</sub> inmovilizado e irradiación solar. Recuperado de: URI:  
<http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/430>

- Marena, M. M., Mueses, M. A., & Fiderman, M. M. (2017). Modelado y evaluación experimental de un reactor solar fotocatalítico no isotérmico: efecto de la temperatura sobre la cinética de la velocidad de reacción. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 19(2).  
<https://doi.org/10.25100/iyc.v19i2.5301>
- Mirzaei, A., Chen, Z., Haghghat, F., & Yerushalmi, L. (2017). Removal of pharmaceuticals from water by homo/heterogonous Fenton-type processes – A review. *Chemosphere*, 174, 665–688.  
[doi:10.1016/j.chemosphere.2017.02.019](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.019)
- Mugunthan, E., Saidutta, M. B., & Jagadeeshbabu, P. E. (2018). Visible light assisted photocatalytic degradation of diclofenac using TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> mixed oxide catalysts. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 10, 322–330.  
<https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.07.012>
- Muñoz, J. S. C. (2012). Fotocatalisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales. *Producción+ Limpia*, 6(2). Recuperado de:  
<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/133/68>
- Orozco, A. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. *Acodal*. Recuperado de:  
<https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=t5w5EZf1VhMC&oi=fnd&pg=PP17&dq=aguas+residuales&ots=>
- Peiró, A. (2003). Nuevas aportaciones al desarrollo de metodologías en química verde: eliminación fotocatalítica de contaminantes fenólicos, preparación de fotocatalizadores mediante procesos químicos suaves, tesis (doctorado en química), España, Universitat Autònoma de Barcelona, 228 pp.

- Pérez-Anaya, O. (2017). Índice de Osk: una nueva medición bibliométrica para las revistas científicas. *Revista Española de Documentación Científica*, 40(2): e174. doi:  
<http://dx.doi.org/10.3989/redc.2017.2.1418>
- Pérez, P., & Zeller, M. (2002). Determinación del Band-gap en Ge. Recuperado de:  
[http://users.df.uba.ar/sgil/labo5\\_uba/inform/info/pract\\_especial/band\\_gapI\\_Ge\\_2k2a.pdf](http://users.df.uba.ar/sgil/labo5_uba/inform/info/pract_especial/band_gapI_Ge_2k2a.pdf)
- Pineda Ospina, D. L. (2015). Bibliometric analysis for the identification of factors of innovation in the food industry. *AD-minister*, (27), 75-126. Recuperado de:  
<http://www.scielo.org.co/pdf/adter/n27/n27a05.pdf>
- ProQuest LLC. (1971). Proquest [base de datos]. Recuperado de: <https://search-proquest-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/central/index?accountid=48784>
- Rodríguez, J., Candal, R., Solis, J., Estrada, W., & Blesa, M. (2004). fotocatalizador: síntesis, propiedades y limitaciones. Recuperado de:  
[https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/09\\_Capitulo\\_09.pdf](https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/09_Capitulo_09.pdf)
- Rubiano, C; Laguna, W; Zapata, C; Marin, J. (2005). Estudio sobre las posibilidades de aplicación de la fotocátalisis heterogénea a los procesos de remoción de fenoles en medio acuoso. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/service/r2020/downloadPdf/1694/169421171002/1>
- Sandoval Delgado, A. (2013). Plan de saneamiento básico teniendo en cuenta el abastecimiento de agua potable, residuos sólidos domiciliarios y manejo de aguas residuales en el corregimiento de Betania en el Municipio del Playon, Santander. Recuperado de:  
<http://hdl.handle.net/20.500.11912/959>
- Sanz, J., Lombraña, J. I., & de Luis, A. (2013). Estado del arte en la oxidación avanzada a efluentes industriales: nuevos desarrollos y futuras tendencias. *Afinidad*, 70(561). Recuperado de:  
<https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/268536>

- Smýkalová, Sokolová, Foniok, Matějka, & Praus. (2019). Photocatalytic Degradation of Selected Pharmaceuticals Using g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and TiO<sub>2</sub> Nanomaterials. *Nanomaterials*, 9(9), 1194.  
<https://doi.org/10.3390/nano9091194>
- Sun, N., Qu, Y., Yang, C., Yang, Z., Yan, R., E, W., ... Fu, H. (2019). Efficiently photocatalytic degradation of monochlorophenol on in-situ fabricated BiPO<sub>4</sub>/β-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> heterojunction microspheres and O<sub>2</sub>-free hole-induced selective dechlorination conversion with H<sub>2</sub> evolution. *Applied Catalysis B: Environmental*, 118313. doi:10.1016/j.apcatb.2019.118313
- Terán Solíz, M. C. (2016). Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/88273>
- Universidad Autónoma del Estado de México. (2002). Redalyc [base de datos]. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/home.oa>
- Valenzuela Larrea, D. E. (2019). Tratamiento de las aguas residuales de una industria farmacéutica de la ciudad de Quito mediante procesos de oxidación avanzada (Bachelor's thesis, Quito: UCE). Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17606>
- Valencia, H; Reinoso, P; Arias, V. Degradación de resorcinol por fotocatalisis heterogénea usando TiO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Scientia et technica*, [S.l.], v. 2, n. 50, p. 192-196, abr. 2012. ISSN 2344-7214.  
Recuperado de: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1725>.
- Wang, W., Fang, J., Shao, S., Lai, M., & Lu, C. (2017). Compact and uniform TiO<sub>2</sub>@g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> core-shell quantum heterojunction for photocatalytic degradation of tetracycline antibiotics. *Applied Catalysis B: Environmental*, 217, 57–64. doi:10.1016/j.apcatb.2017.05.037
- Wang, J., Zhang, Q., Deng, F., Luo, X., & Dionysiou, D. D. (2019). Rapid toxicity elimination of organic pollutants by the photocatalysis of environment-friendly and magnetically recoverable

Step-scheme SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nano-heterojunctions. *Chemical Engineering Journal*, 122264.

doi:10.1016/j.cej.2019.122264

Yin, Z., Tian, Y., Gao, P., Feng, L., Liu, Y., Du, Z., & Zhang, L. (2019). Photodegradation mechanism and genetic toxicity of bezafibrate by Pd/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> catalysts under simulated solar light irradiation: The role of active species. *Chemical Engineering Journal*, 122294.

doi:10.1016/j.cej.2019.122294

Zhao, Y., Wang, Y., Liang, X., Shi, H., Wang, C., Fan, J., ... Liu, E. (2019). Enhanced photocatalytic activity of Ag-CsPbBr<sub>3</sub>/CN composite for broad spectrum photocatalytic degradation of cephalosporin antibiotics 7-ACA. *Applied Catalysis B: Environmental*, 247, 57–69.

<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.01.090>.

Zhou, L., Liu, Z., Guan, Z., Tian, B., Wang, L., Zhou, Y., ... Liu, Y. (2019). 0D/2D plasmonic Cu<sub>2</sub>-xS/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanosheets harnessing UV-vis-NIR broad spectrum for photocatalytic degradation of antibiotic pollutant. *Applied Catalysis B: Environmental*, 118326.

doi:10.1016/j.apcatb.2019.118326

## **ANEXOS**

## **ANEXOS**

### *Anexo 1 Tabla de evaluación de artículos científicos*



*Anexo 2 DATA*

Nº	Título	Identificador de Objetos Digitales (DOI)	Fundamento	Metodología	Selección de estudios y recopilación de datos	Conclusiones
1	Actividad fotocatalítica mejorada del compuesto Ag-CsPbBr <sub>3</sub> / CN para la degradación fotocatalítica de amplio espectro de antibióticos de cefalosporina 7-ACA (Zhao et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.01.090">https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.01.090</a>	Se propuso un posible mecanismo para la degradación de 7-ACA sobre el compuesto Ag-CsPbBr <sub>3</sub> / CN de acuerdo con mediciones detalladas de la prueba de adsorción, medición de Brunauer-Emmett-Teller (BET), espectros de reflectancia difusa UV-vis (DRS), espectros de fotoluminiscencia (PL), la respuesta de fotocorriente transitoria y la medición de espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS), y la actividad fotocatalítica mejorada de Ag-CsPbBr <sub>3</sub> / CN	Un sistema de degradación de antibióticos inducido por la luz visible basado en un nano-Ag, punto cuántico CsPbBr <sub>3</sub> (QD) y un conjunto ternario g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (CN) a granel (Ag-CsPbBr <sub>3</sub> / CN) se ha construido en primer lugar en un entorno de fase orgánica, oleilamina (OLA) y ácido oleico (OA) se usaron como tensioactivos para estabilizar la CsPbBr <sub>3</sub> , se usó L-cisteína para facilitar la interacción entre nano-Ag, CsPbBr <sub>3</sub> y CN. El nuevo conjunto ternario del compuesto Ag-CsPbBr <sub>3</sub> / CN se usó para degradar el ácido 7-aminocefalosporánico (7-ACA) bajo irradiación de luz visible, y el compuesto al 7% -Ag-CsPbBr <sub>3</sub> / CN mostró la actividad fotocatalítica superior, aproximadamente el 92.79% de El 7-ACA se ha degradado a CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O y otras moléculas pequeñas a los 140 minutos, que fue aproximadamente 1.49 veces, 1.56 veces, 3.01 veces y 11.43 veces más que el 9% -CsPbBr <sub>3</sub> / CN, 7% -Ag / CN,	El compuesto de CN podría atribuirse a la excelente capacidad de adsorción, la captación de luz mejorada y la recombinación de carga reducida, así como los efectos sinérgicos de nano-Ag y CsPbBr <sub>3</sub> co-cargado con CN. Además, los agujeros (h <sup>+</sup> ) y los radicales hidroxilo (% OH) desempeñaron papeles importantes, los radicales electrónico (e <sup>-</sup> ) y superóxido (% O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) jugaron papeles menores basados en los experimentos de captura de especies reactivas, la transformación NBT y el 7 -experimentos fluorescentes de hidroxycumarina. Además, se investigó una posible vía de degradación de 7-ACA base + E1d en el experimento de cromatografía líquida-espectroscopía de masas (LC-MS) para comprender mejor el proceso de degradación. El presente abre una nueva perspectiva para usar CsPbBr <sub>3</sub> como	El nuevo conjunto ternario del compuesto Ag-CsPbBr <sub>3</sub> / CN con excelente actividad fotocatalítica se ha sintetizado en primer lugar cargando nano-Ag en la superficie del compuesto CsPbBr <sub>3</sub> / CN para la degradación de 7-ACA bajo irradiación de luz visible. La actividad fotocatalítica mejorada del compuesto Ag-CsPbBr <sub>3</sub> / CN podría atribuirse a la excelente capacidad de absorción, la captación de luz mejorada y la recombinación de carga reducida, así como los efectos sinérgicos de los QD nano-Ag y CsPbBr <sub>3</sub> co-cargados con CN. El presente trabajo puede proporcionar una nueva visión para construir un nuevo fotocatalizador y puede tener aplicaciones prácticas en la
2	Degradación fotocatalítica de contaminantes orgánicos con nanoestructuras de polipirrol bajo luz UV y visible (Yuan et al., 2018)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.10.002">https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.10.002</a>	Las nanoestructuras poliméricas conjugadas (CPN) emergen como una nueva clase de fotocatalizadores para degradación de contaminantes orgánicos, bajo UV y luz visible. Polipirrol (PPy), como un polímero conjugado, exhibe una amplia gama de aplicaciones. En este artículo se muestra el empleo PPy puro de nanoestructuras como un fotocatalizador muy eficiente para la descontaminación del agua.	El dióxido de titanio es el fotocatalizador más utilizado debido a su no toxicidad, mecánica y estabilidad, resistencia a la corrosión, alta actividad fotocatalítica y bajo precio; sin embargo, TiO <sub>2</sub> es solo activo bajo luz UV debido a su gran espacio de banda (3.2 eV para anatasa y 3.0 eV para rutilo), que constituye el 3-4% de la luz solar que incide en la superficie de la Tierra. Para superar esto limitar y extender su actividad fotocatalítica hacia la región visible, una gran cantidad de esfuerzos se han realizado mediante dopaje de TiO <sub>2</sub> con N, C o S o mediante su modificación superficial con metal nanopartículas (NP) como Ag, Au, Pt, Pd NP.	El polipirrol (PPy) se considera uno de los polímeros conjugados bien explorados para diferentes aplicaciones, como actuadores, electrodos supercondensadores, ablación de células cancerosas, células de combustible y catálisis debido a su alta conductividad eléctrica, alta estabilidad, alta movilidad del portador, excelente actividad electroquímica, síntesis fácil y fuertes sitios de unión o anclaje para reacciones secuenciales. Se ha desarrollado una variedad de métodos de síntesis como la síntesis basada en plantillas y sin plantillas para preparar nanoestructuras PPy de diferentes morfologías. Usando plantillas blandas, se obtuvieron diferentes	Las nanoestructuras de PPy se obtuvieron mediante dos métodos diferentes de polimerización: PPy-NS-c se sintetizaron con éxito mediante oxidación química con Fe <sup>3+</sup> en mesofases hexagonales (utilizadas como plantillas blandas) y PPy-NS-γ se obtuvieron mediante polimerización radiolítica. Las nanoestructuras PPy-NS-c y PPy-NS-γ muestran actividades fotocatalíticas mucho más altas bajo irradiación de luz ultravioleta y visible en comparación con PPy-bulk (sintetizado sin ninguna plantilla). La actividad fotocatalítica de las nanoestructuras PPy es

3	Degradación fotocatalítica asistida por luz visible de diclofenaco usando catalizadores de óxido mixto TiO <sub>2</sub> - WO <sub>3</sub> (Mugunthan et al., 2018)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.07.012">https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.07.012</a>	Los compuestos farmacéuticos y sus derivados presentes en el medio ambiente se caracterizan como contaminantes orgánicos emergentes y se encuentran significativamente en aguas superficiales, subterráneas y potables (Petrovic et al., 2011). Las industrias que fabrican ingredientes farmacéuticos activos (API) son la razón principal para la liberación de metabolitos tóxicos en el medio ambiente en una gran cantidad. Entre los medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE) disponibles en numerosas ocasiones, el diclofenaco se usa ampliamente en todo el mundo para el tratamiento de dolores menores, dolor y signos de artritis reumatoide (Calza et al., 2006; García-Araya et al., 2010). El diclofenaco se informa a ser uno de los compuestos farmacéuticos frecuentemente distinguidos en ríos y aguas superficiales a lo	El fotocatalizador de semiconductores acoplado a TiO <sub>2</sub> -WO <sub>3</sub> se sintetizó por el método hidrotérmico con variación en las relaciones molares de titanio (Ti) y tungsteno (W). Una síntesis representativa del fotocatalizador TiO <sub>2</sub> -WO <sub>3</sub> (relación molar 1: 1) es la siguiente: se disolvieron 2 ml de isopropóxido de titanio en 20 ml de isopropanol bajo agitación dinámica. Se añadieron 1,5 ml de ácido acético y 5 ml de agua destilada a la mezcla de reacción mencionada anteriormente y se agitó durante 10 minutos. Luego, se disolvieron 2.214 g de dihidrato de tungstato de sodio en la mezcla anterior bajo agitación constante. La mezcla se sonicó luego en ultrasonidos durante 10 minutos, para facilitar la reacción del precipitado. Luego, la mezcla de reacción sonicada se vertió en un autoclave de teflón y se calentó a una temperatura de 160 ° C en un horno durante 24 h.	Los catalizadores TiO <sub>2</sub> -WO <sub>3</sub> se sintetizaron utilizando el método hidrotérmico con diferentes proporciones molares de precursor de tungsteno (W). Los catalizadores preparados se caracterizaron usando diferentes técnicas y se evaluó su eficacia fotocatalítica en la degradación de diclofenaco bajo irradiación de luz visible. Se descubrió que todos los catalizadores preparados producían un mejor rendimiento que el TiO <sub>2</sub> puro bajo la irradiación de luz visible. Se observó que la mineralización de diclofenaco alcanzó hasta el 91% dentro de las 4 horas de tratamiento.	El estudio se realizó con varios valores de pH a partir de pH 4 a pH 8 con dosificación constante de catalizador (0.6 g / L) y concentración inicial de diclofenaco (25 mg / L). Se infiere que la degradación fotocatalítica de diclofenaco a pH 5 fue más efectiva en comparación con otros pH y también se obtuvo una eficiencia extrema de reducción de TOC del 92% a pH 5. Los resultados revelaron que la mineralización de diclofenaco fue mayor en un ambiente ácido. que en el ambiente alcalino.
4	Mejora de la eficiencia de la degradación fotocatalítica de la tetraciclina utilizando nanoplaquetarios de titanio coordinados con óxido de grafeno reducido (Li et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.06.038">https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.06.038</a>	El compuesto clorhidrato de tetraciclina (TCH) es un antibiótico que se usa en la aplicación médica y veterinaria, sin embargo, su uso excesivo y su liberación accidental en ríos y estuarios plantea serias amenazas para la ecología, el medio ambiente y la salud pública. Este estudio se centró en el desarrollo de un catalizador de bajo costo para fotodegradar el TCH. Se produjeron diferentes formulaciones de fotocatalizadores de TiO <sub>2</sub> andamiadas con grafeno reducido (denominado TiO <sub>2</sub> -RGOTiO <sub>2</sub> ) utilizando un método sol-gel rentable.	Los nanocompuestos TiO <sub>2</sub> -RGO-TiO <sub>2</sub> se aplicaron como agentes de degradación antibiótica para degradar fotocatalíticamente el TCH en condiciones de energía solar ultravioleta (UV) y simulada (SSE) en dióxido de carbono, agua y residuos basados en carbono. Los materiales se sintetizaban utilizando técnicas de sol-gel de abajo hacia arriba. La actividad de degradación se atribuyó a los efectos sinérgicos entre sitios altamente reactivos de los componentes RGO y TiO <sub>2</sub> e inhibió la recombinación de pares de huecos y electrones.	La importancia de esta investigación radica en el desarrollo de nanocompuestos a través de técnicas de síntesis verde factibles para mejorar la eficiencia fotocatalítica para degradar el TCH. Las motivaciones son (1) proporcionar una guía para la investigación fundamental en nanomateriales utilizados para la degradación de antibióticos; (2) comprender el mecanismo de degradación fotocatalítica; e (3) integrar instrumentación avanzada para ayudar a la optimización de las variables para mejorar la eficacia de la degradación. Los datos clave de la investigación demostraron que el nanocompuesto TiO <sub>2</sub> -RGO-TiO <sub>2</sub> con mesoporos generó sitios de alta reactividad, agujeros y ROS.	Se descubrió que la adición óptima de GO al 6% en peso dio como resultado la mayor eficiencia de degradación debido a la vida útil prolongada del portador y sitios reactivos mejorados. Como los datos de PL indicaron, la recombinación del par e <sup>-</sup> h <sup>+</sup> se inhibió con éxito, y los rayos UV mostraron una disminución en la energía de separación de banda de TiO <sub>2</sub> de 3.20 a 2.87 eV. Se descubrió que los agujeros desempeñaban un papel dominante en la oxidación directa de TCH relacionada con la proximidad en el intervalo de banda (2,87 eV) de TiO <sub>2</sub> y la energía de salto (2,80 eV) dentro de RGO. El agujero puede aumentar la interacción entre el TCH estabilizado de TiO <sub>2</sub> y el RGO coordinado; aquí facilita la oxidación de TCH. La fabricación de compuestos de TiO <sub>2</sub>

5	<p>Adsorción y oxidación fotocatalítica de ibuprofeno utilizando nanocompuestos de nanofibras de TiO<sub>2</sub> combinadas con nanohojas BN: productos y mecanismos de degradación (Lin et al., 2018)</p>	<p><a href="https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.184">https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.184</a></p>	<p>Este estudio investigó la adsorción y la actividad fotocatalítica de los nanocompuestos de nitrato de boro (BN) de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) para la eliminación de contaminantes de preocupación emergente en el agua utilizando ibuprofeno como compuesto modelo.</p>	<p>Las nanofibras de TiO<sub>2</sub> envueltas en nanohojas BN se sintetizaron mediante el método de electrohilado. La caracterización de los fotocatalizadores de nanocompuestos indicó que las nanocapas BN mejoraron la absorbancia de la luz y redujeron la recombinación de los portadores de carga fotoexcitados (e y h<sup>+</sup>). Los productos y mecanismos de oxidación fotocatalítica del ibuprofeno mediante los catalizadores de TiO<sub>2</sub>-BN se dilucidaron mediante un enfoque de análisis múltiple mediante cromatografía líquida de alto rendimiento, absorbancia ultravioleta, carbono orgánico disuelto, matrices de emisión de excitación de fluorescencia y espectrometría de masas con cromatografía líquida de ionización por electropulverización.</p>	<p>Se han detectado ampliamente contaminantes de preocupaciones emergentes como productos farmacéuticos y productos para el cuidado personal (PPCP) en cuerpos de agua de todo el mundo (Vieno et al., 2007; Benotti et al., 2008). Muchos PPCP son motivo de gran preocupación incluso en pequeñas cantidades debido a su toxicidad para la vida acuática y los riesgos potenciales para la salud pública (Snyder et al., 2003; Vieno et al., 2007; Christen et al., 2010). Los procesos convencionales de tratamiento de aguas y aguas residuales, incluidos la coagulación, sedimentación, filtración de medios y procesos biológicos, no son efectivos para eliminar estos contaminantes orgánicos recalcitrantes (Vieno et al., 2007; Xiang et al., 2016). Para degradar los contaminantes orgánicos persistentes, normalmente se necesitan procesos de oxidación avanzados (AOP) (De la Cruz et al., 2012). Los AOP generan radicales hidroxilo (OH) que reaccionan de forma</p>	<p>Los resultados experimentales revelaron que la oxidación fotocatalítica de los nanocompuestos de TiO<sub>2</sub>-BN es un proceso de varios pasos y las interacciones entre las moléculas de ibuprofeno y los nanocompuestos de TiO<sub>2</sub>-BN rigen el proceso de adsorción. El creciente contenido de nanoesferas de BN en las nanofibras de TiO<sub>2</sub> facilitó la descomposición de los intermedios de degradación de ibuprofeno (hidroxibuprofeno, carboxibuprofeno y oxipropil ibuprofeno). El modelo cinético indicó tanto la adsorción como la oxidación fotocatalítica del ibuprofeno por los nanocompuestos TiO<sub>2</sub>-BN siguieron el modelo cinético de primer orden. La tasa de oxidación fotocatalítica aumentó con el aumento del contenido de BN en los catalizadores de nanocompuestos, que se atribuyó a la capacidad de absorción de luz</p>
6	<p>Propiedades fotocatalíticas de NiO incorporado sobre nanopartículas de clinoptilolita en el proceso de fotodegradación de solución acuosa de cápsula farmacéutica de cefixima (Pourtaheri et al., 2015)</p>	<p><a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2015.10.031">http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2015.10.031</a></p>	<p>La descarga de compuestos orgánicos peligrosos y productos farmacéuticos, especialmente antibióticos, al medio ambiente causa serios problemas para la salud humana. Por lo tanto, diferentes investigadores se han interesado en la eliminación de estos materiales (Shariffuddin et al., 2013; Das et al., 2013; Vondrackova et al., 2015). La cefixima es activa contra las bacterias aeróbicas gram positivas y gram negativas y es un candidato principal para la terapia de cambio debido a su muy buen perfil de eficacia y seguridad.</p>	<p>La degradación fotocatalítica de la cefixima se estudió utilizando NiO / nano-clinoptilolita (NiO / NCP) como un fotocatalizador heterogéneo bajo irradiación con lámpara de Hg. Para este objetivo, las nanopartículas de clinoptilolita (NCP) preparadas mediante el método mecánico de molienda de bolas fueron intercambiadas con iones, calcinadas y caracterizadas por difracción de rayos X (XRD), espectroscopía de reflectancia difusa UV-vis (DRS), microscopio electrónico de transmisión (TEM) y las técnicas de infrarrojo de transformación de Fourier (FT-IR).</p>	<p>El proceso de degradación se controló durante las pruebas experimentales mediante espectroscopía de absorción UV-vis, así como métodos de DQO y HPLC. Para garantizar la homogeneidad de la suspensión, se agitó magnéticamente durante el proceso de irradiación. La solución en blanco tenía las mismas condiciones de analito sin el fotocatalizador. Para determinar el grado de degradación de la cefixima, se tomó una muestra de la suspensión y se centrifugó para eliminar partículas sólidas.</p>	<p>Los resultados de este trabajo confirmaron que el soporte de NiO en nanopartículas de clinoptilolita aumentó significativamente su actividad de fotodegradación, por lo que el NiO soportado en nanopartículas de clinoptilolita (NCP) puede degradar más moléculas de cefixima con respecto a las nanopartículas de NiO y NiO a granel. Además, el NiO soportado en NCP mostró una mejor actividad de degradación que TiO<sub>2</sub>. La cantidad de NiO soportado depende significativamente de la concentración de Ni (II) en la solución de intercambio iónico porque la fuerza iónica de esta solución afecta la extensión del intercambio iónico. La cantidad de NiO ingresada en el lecho zeolítico afecta significativamente el grado de degradación del contaminante, por lo que el catalizador que contiene 13.3% de NiO mostró la</p>

7	Degradación fotocatalítica asistida por luz visible de diclofenaco utilizando catalizadores de óxido mixto TiO <sub>2</sub> -WO <sub>3</sub> (E et al., 2018)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.07.012">https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.07.012</a>	Pharmaceutical compounds and its derivatives present in the environment are characterized as emerging organic contaminants and it is found significantly in surface waters, groundwater, and drinking water (Petrovic et al., 2011).	The TiO <sub>2</sub> -WO <sub>3</sub> catalysts were synthesized using hydrothermal method with different molar ratios of tungsten (W) precursor. The prepared catalysts were characterized using different techniques and assessed for its photocatalytic efficiency in the degradation of diclofenac under visible light irradiation.	The morphology and size of the catalyst were examined by using the Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , etc., which were exploited in the photocatalytic oxidation of JOEL JEM-2100 Transmission electron microscope (TEM). X-Ray dif- various recalcitrant organic compounds. WO <sub>3</sub> is considered to be one of fraction patterns of TiO <sub>2</sub> -WO <sub>3</sub> catalyst were recorded using the JEOL the important photocatalyst material which could be utilized in visible DX-GE-2 P Goniometer operated at room temperature. The available light-mediated photocatalytic application due to its band gap range specific surface area and pore volume of the catalyst were estimated by (2.4–2.8 eV) (Su et al., 2011). Further, WO <sub>3</sub> has also had intriguing Brunauer-Emmett-Teller (BET) procedure. UV-vis spectra of all the advantages such as low-cost, smaller band gap, higher stability in catalyst samples were obtained using Hitachi UV-160 A aqueous solutions and strong photo-corrosion resistance (Dong	It was found that all the prepared catalysts produced better performance than the pure TiO <sub>2</sub> under the visible light irradiation. It was observed that the mineralization of diclofenac reached up to 91% within 4 h of treatment. The effect of the initial diclofenac concentration, pH and catalyst loading were also investigated. The improved photocatalytic activity of the TiO <sub>2</sub> -WO <sub>3</sub> mixed oxide catalysts could be attributed to the enhanced electron-hole separation under visible light.
8	Degradación de la fase gaseosa de 2-propanol usando fotocatalizadores de titania: estudio de la eficiencia cuántica (Muñoz-Batista et al., 2017)	<a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.08.014">http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.08.014</a>	Una serie de muestras de TiO <sub>2</sub> , preparadas por un método asistido por microondas seguido de secado por pulverización y sometidas a calcinación adicional, se analizaron en fotodegradación en fase gaseosa de 2-propanol en condiciones de iluminación de tipo UV y luz solar. Las muestras se caracterizaron mediante difracción de rayos X, porosimetría, UV-vis y espectroscopias de fotoluminiscencia.	Para calcular la eficiencia en base cuantitativa, llevaron a cabo un análisis completo de la interacción de la materia ligera en el sistema de reacción, así como la respuesta química de los catalizadores que miden la actividad de reacción y la selectividad.	El estudio mide las diferencias observadas entre las aproximaciones más comunes (incluida la eficiencia cuántica aparente y verdadera) utilizadas para calcular el parámetro de eficiencia, proporcionando evidencia de que pueden diferir en un factor de 2–4 y muestra que el rendimiento óptimo en nuestra titania-Los catalizadores basados se obtienen en presencia de un contacto de interfaz anatasa-rutilo.	En este trabajo se presentó un estudio de materiales de titanio altamente fotoactivos preparados por secado por aspersión y calcinados en la región de 600–700 ° C. La caracterización de los materiales proporcionó información sobre sus propiedades fisicoquímicas indicando que el aumento de la temperatura de calcinación produce una disminución en el área de superficie, un aumento del tamaño de partícula primaria del polimorfo anatasa inicialmente presente, así

9	Una estrategia simple para la fabricación del nanocompuesto Pd @ MIL-100 (Fe) como fotocatalizador impulsado por luz visible para el tratamiento de productos farmacéuticos y productos de cuidado personal (PPCP) (Liang et al., 2015)	<a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.04.009">http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.04.009</a>	El tratamiento efectivo de los productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP) contenía aguas residuales sigue siendo una tarea importante pero desafiante para la restauración ambiental. En este trabajo, se ha fabricado con éxito un novedoso nanocompuesto Pd @ MIL-100 (Fe) a través de un enfoque fácil de reducción de alcohol.	El Pd @ MIL-100 (Fe) resultante ha exhibido una fotoactividad superior hacia la degradación de tres PPCP típicos, es decir, teofilina, ibuprofeno y bisfenol A, bajo irradiación de luz visible ( $\lambda \geq 420$ nm). Su fotoactividad también es mucho más alta que la del original MIL-100 (Fe).	En combinación con los análisis fotoelectroquímicos, se podría revelar que la introducción de NP de Pd minimizaría la recombinación de pares de electrones-agujero fotogenerados, mejorando así el rendimiento fotocatalítico. Además, se han medido en detalle los efectos de diferentes tipos de metales, la cantidad de carga de metales nobles, el valor de pH de la solución de reacción y la concentración inicial de peróxido de hidrógeno sobre las actividades de degradación fotocatalítica.	El nanocompuesto iterado de Pd @ MIL-100 (Fe) altamente disperso se ha preparado con éxito a través de un método de reducción de alcohol fácil. El Pd @ MIL-100 (Fe) resultante muestra una actividad mejorada en comparación con el MIL-100 (Fe) hacia el fotocatalítico. La mayor fotoactividad del Pd @ MIL-100 (Fe) se puede atribuir a la degradación de los PCP bajo iluminación de luz visible ( $\lambda \geq 420$ nm).
10	Filtro no tejido de polipropileno con varillas de ZnO de tamaño nanométrico: prometedor fotocatalizador híbrido para purificación de agua (degradación de fenol) (Colmenares et al., 2015)	<a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.01.031">http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.01.031</a>	El futuro de la purificación eficiente del agua radica en los Procesos de oxidación avanzados (AOP) en los que los contaminantes se oxidan por completo a CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O y ácidos minerales. Según muchos investigadores, la oxidación fotocatalítica heterogénea (PCO) es una de las tecnologías alternativas más innovadoras, "verdes" y prometedoras entre los	This study focuses on the synthesis of one-dimensional (1D) ZnO nanorods onto a polypropylene (PP) nonwoven fiber mat.	This prepared hierarchical fiber/nanorod crystal composition with surface-normal ZnO nanorods on the cylindrical fiber template was tested in the photocatalytic mineralization of phenol in water. The hierarchical structure shows superior photocatalytic performance than the commercial ZnO counterpart. This study should be beneficial to the development of processes that involve the use of polymeric fibers in a photocatalytic environment.	It has been proved the effective photocatalytic activity in aqueous phase phenol degradation of 1D ZnO/PP hybrid material synthesized by a simple physico-chemical methodology. This research is an important step forward in the preparation of photocatalytic active filters (the combination of the advantages from photocatalysis and filtration) for water purification
11	Degradación fotocatalítica de contaminantes orgánicos con nanoestructuras de polipirrol bajo luz UV y visible (Yuan, 2018)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.10.002">https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.10.002</a>	Aquí demuestran que la nanoestructuración de estos polímeros es un factor importante para su aplicación en la fotocatalisis.	Recientemente, desarrollaron una metodología radiolítica alternativa para sintetizar nanoestructuras de polímeros conductores (CPN) en soluciones acuosas o en solventes orgánicos gracias al uso de radiaciones de alta energía. Además, la síntesis controlada en plantillas blandas (hechas de mesofases hexagonales) de nanoestructuras poliméricas conjugadas tales como poli (difenilbutadina) (PDPB), poli (3,4-etilendioxitieno) (PEDOT) y poli (3-hexiltiofeno) (P3HT) ha sido reportado por nuestro grupo.	En este trabajo, utilizaron tres métodos para sintetizar PPy: la muestra preparada PPy-NS- $\gamma$ se sintetizó por radiólisis, las nanoestructuras PPy-NS-c se sintetizaron por oxidación química, PPy-bulk se sintetizó por oxidación química (usando FeCl <sub>3</sub> como oxidante)	Las nanoestructuras de PPy se obtuvieron mediante dos métodos diferentes de polimerización: PPy-NS-c se sintetizaron con éxito mediante oxidación química con Fe <sup>3+</sup> en mesofases hexagonales (utilizadas como plantillas blandas) y PPy-NS- $\gamma$ se obtuvieron mediante polimerización radiolítica.

12	Nanohojas ultrafinas de óxido de perovskita / fotocatalizadores de heterounión g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 2D-2D con actividad fotocatalítica significativamente mejorada hacia la fotodegradación de la tetraciclina (Jiang et al., 2017)	<a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.09.001">http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.09.001</a>	En los últimos años, las nanohojas bidimensionales (2D) han despertado un interés generalizado debido a su gran relación superficie-volumen, propiedades ópticas y electrónicas únicas, así como a las prometedoras aplicaciones en el agua. división, células solares y purificación ambiental. Entre las varias nano-hojas 2D, las nanohojas de óxido metálico que consisten en Ti <sup>4+</sup> o Nb <sup>5+</sup> han atraído una atención considerable debido a las variedades de materiales de óxido en capas con propiedades funcionales interesantes, como superconductores, ferroelectricidad de alta $\kappa$ ,	El rendimiento fotocatalítico de esta heteroestructura 2D-2D se investigó mediante la degradación del clorhidrato de tetraciclina (un antibiótico refractario) bajo irradiación de luz visible.	La construcción de heteroestructuras 2D-2D con contacto íntimo abre una estrategia efectiva para el desarrollo de fotocatalizadores de luz visible altamente activos para aplicaciones ambientales.	Los resultados del trabajo demostraron que la construcción de heterouniones 2D-2D es una estrategia efectiva para obtener la actividad fotocatalítica mejorada hacia la degradación del clorhidrato de tetraciclina.
13	Degradación fotocatalítica eficiente de monoclorofenol en microesferas de heterounión BiPO <sub>4</sub> / $\beta$ -Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> fabricadas in situ y conversión de descloración selectiva inducida por agujeros sin O <sub>2</sub> con evolución de H <sub>2</sub> (Sun et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.118313">https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.118313</a>	Debido a la alta bio-toxicidad del cloro (Cl), los monoclorofenoles (PC) son los contaminantes ambientales peligrosos con una serie de efectos adversos para la salud y el ecosistema. Debido a los enlaces estables de carbono-cloro (C-Cl), los PC son tóxicos agudos, cancerígenos y no biodegradables. Recientemente, debido al uso extenso, las prácticas inadecuadas de eliminación de desechos, fugas y escurrimientos accidentales de los procesos, incluso se han encontrado PC en el sistema de agua potable, lo que resulta en un	Por lo tanto, se requieren técnicas efectivas para alcanzar los objetivos de la mineralización previa inducida por diclorinación y la conversión de PC. En general, la fotocatálisis es una técnica AOP potencialmente poderosa para eliminar las PC mediante la producción de especies de oxígeno altamente reactivas (ROS), que incluyen radicales hidroxilo disociativos ( $\cdot$ OH), radicales superóxido ( $\cdot$ O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) y peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ).	Los CP contenidos en Cl se adsorben fácilmente en los fotocatalizadores semiconductores que contienen metal. En este caso, los CP adsorbidos podrían capturar efectivamente agujeros fotogenerados debido a la fuerte adsorción para promover la separación de carga. Curiosamente, los enlaces C-Cl estables serán atacados preferentemente por agujeros fotogenerados para que puedan ser escindidos. Por lo tanto, es factible y significativo desarrollar un fotocatalizador con una fuerte capacidad de adsorción de CP a través de la interacción cloro-metal para su conversión eficiente por un camino de	La fotoactividad mejorada se atribuye principalmente a la fuerte adsorción de 2-CP debido a la interacción de Bi en Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> con orbitales vacíos y Cl de 2-CP con electrones de par solitario, y a la vida útil prolongada de la carga al transferir la energía adecuada fotogenerada de electrones de nivel de $\beta$ -Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> al nano-BiPO <sub>4</sub> formado in situ, principalmente por medio de las curvas de adsorción de CP, SS-SPS, TS-SPV y espectros de acción fotocorriente.

14	Nanohojas plasmónicas 0D / 2D Cu <sub>2-x</sub> S / g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> que aprovechan el espectro amplio UV-vis-NIR para la degradación fotocatalítica de contaminantes antibióticos (Zhou et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.118326">https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.118326</a>	En este trabajo, el autor informa sobre la preparación de 0D / 2D plasmonic Cu <sub>2-x</sub> S / g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> nanosheets (CSCNN) y la utilización de LSPR generados a partir de nanodots Cu <sub>2-x</sub> S en lugar de metales nobles para mejorar la actividad fotocatalítica para la degradación de las típicas antibiótico levofl oxacina (LVX). Se empleó un método hidrotérmico de un solo paso para cultivar los nanodots Cu <sub>2-x</sub> S altamente dispersos en las nanohojas g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> .	Varias técnicas de caracterización verifican la fuerte capacidad de absorción de luz y la vida útil más larga de los portadores para CSCNN. Más importante aún, se ha demostrado que los LSPR son efectivos para aumentar la absorción de luz en la región del infrarrojo cercano (NIR) y las simulaciones teóricas del dominio de tiempo de diferencia definida (FDTD) demostraron que el campo electromagnético inducido por Cu <sub>2-x</sub> S LSPR en las nano-hojas g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> estaba lejos más fuerte que el de Ag y Au en la región NIR.	En consecuencia, se puede lograr una degradación fotocatalítica eficiente de LVX bajo espectro solar completo (UV-vis-NIR) para CSCNNs. Este trabajo conducirá a un sistema de fotocatalisis LSPR barato y eficiente para el tratamiento de aguas residuales con antibióticos u otras aplicaciones fotocatalíticas. Las actividades fotocatalíticas de los catalizadores resultantes se probaron para la degradación de LVX bajo tres tipos de filtro (AM1.5, Cut-400 y Cut-700). En un procedimiento típico, se dispersaron 50 mg de catalizador en 50 ml de solución acuosa LVX de 20 mg / l. La suspensión se colocó en el tubo de un cuarto que se agitó durante 0,5 h en la oscuridad para establecer el equilibrio de adsorción-desorción antes de la irradiación. Luego, la suspensión se iluminó con una lámpara Xe de 300 W	Excelente conductividad eléctrica y estabilidad química favorable. Como resultado, el 100% de la tasa de degradación se logró en 20 minutos para el antibiótico refractario LVX, y mostró un excelente efecto de degradación en UV-vis-NIR de amplio espectro. El borde de absorción del catalizador se ha ampliado considerablemente y el efecto LSPR de la carga apropiada de Cu <sub>2-x</sub> S, la migración de portadores de carga y la separación de electrones y agujeros también se promovió simultáneamente. Estas estrategias conducirán a más modificaciones sobre TMS y materiales 2D y la exploración del mecanismo ayuda a comprender la interacción entre estos dos materiales, además es favorable. El fotocatalizador LSPR tiene un gran
15	Compacto y uniforme TiO <sub>2</sub> @ g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> núcleo-capa cuántica heterounión para la degradación fotocatalítica de la tetraciclina antibióticos (Wang et al., 2017)	<a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.05.037">http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.05.037</a>	La optimización de la estructura de heterounión de los fotocatalizadores de semiconductores es importante para aprovechar al máximo sus capacidades para la degradación de las moléculas orgánicas.	Aquí, demuestran una estrategia factible de polimerizar el nitruro de carbono grafitico de espesor cuántico (g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ) en la superficie de las nanohojas de dióxido de titanio anatasa (TiO <sub>2</sub> ) con facetas expuestas para formar el núcleo-cubierta de TiO <sub>2</sub> @ g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (TCN) heterounión cuántica para mejorar la actividad de degradación de la tetraciclina fotocatalítica. 100 mg de fotocatalizador TCN muestra la tasa de degradación de tetraciclina más alta de 2.2 mg / min, que es 36% más alta que la de la mezcla aleatoria de TiO <sub>2</sub> / g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (TCN (mezcla)), 2 veces más alta que la de TiO <sub>2</sub> , y 2.3 veces mayor que la del volumen g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> . Los resultados también indican que h <sup>+</sup> y ·O <sub>2</sub> <sup>-</sup> son las principales especies oxidantes para la reacción fotocatalítica eficiente.	La nanocapa de Anatase TiO <sub>2</sub> con facetas expuestas {001} y {101} es uno de los fotocatalizadores de semiconductores más prometedores para lidiar con la contaminación ambiental debido a su equilibrio entre estabilidad ambiental, no tóxico, bajo costo y alta actividad impulsada por los rayos UV. Se han dedicado varios efectos a modificar dicho TiO <sub>2</sub> con puntos cuánticos, metales nobles, grafeno, etc. Para mejorar la absorción de la luz, la separación de los portadores fotogenerados y la adsorción de los reactivos.	El presente estudio demuestra la importancia de optimizar la estructura de la interfaz de contacto de la heterounión, lo que puede inspirar más ideas centradas en la superficie y la interfaz. Ingeniería para sistemas eficientes de reacción fotocatalítica solar.



16	Caracterización de compuestos BiOX como fotocatalizadores para el degradación de productos farmacéuticos en agua (Ahern et al., 2015)	<a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.04.025">http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.04.025</a>	La superficie y las propiedades foto físicas de los catalizadores de oxihaluro de bismuto se determinaron y correlacionaron con la actividad fotocatalítica. Los catalizadores en sí mismos se caracterizaron utilizando SEM-EDS, XRD, BET y luminiscencia en estado estacionario. El potencial fotocatalítico de estos catalizadores se determinó por su capacidad para degradar 17-etinilestradiol (EE2) y estriol al nivel de ppm en agua.	El grado de fotodescomposición se evaluó mediante espectroscopía de luminiscencia y HPLC-MS / MS. Esta es la primera vez que se utilizan catalizadores BiOX para fotodegradar estrógenos sintéticos. Además, este estudio informa que estos catalizadores BiOX son más efectivos para fotocatalizar los productos farmacéuticos seleccionados que los catalizadores tradicionales como el TiO2.	Los mecanismos fotocatalíticos para EE2 y estriol se compararon entre muestras tratadas con BiOX y TiO2. Estos catalizadores BiOX muestran un gran potencial como solución para el tratamiento de aguas residuales y la remediación ambiental. Se descubrió que los catalizadores de oxihaluro de bismuto son más efectivos para fotocatalizar EE2 y estriol que TiO2. BiOI fue el mejor catalizador probado usando la fuente de luz de 350 nm, y BiOCl fue el mejor catalizador usando la fuente de luz de 254 nm. Los catalizadores BiOX se desempeñaron especialmente bien en	Los mecanismos derivados en este estudio para EE2 y estriol son importantes para comprender cómo estos nuevos catalizadores BiOX interactúan con productos farmacéuticos relacionados. Los análisis físicos y foto físicos de los catalizadores BiOX que incluyen SEM-EDS, XRD y BET indican catalizadores fotoactivos puros, unifásicos con suficiente área superficial para interactuar con los orgánicos.
17	Rendimiento catalítico mejorado de nanocompuestos de grafeno-TiO2 para la degradación sinérgica del antibiótico fluoroquinolona en el sistema de plasma de descarga pulsada (He et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.01.052">https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.01.052</a>	Los nanocompuestos híbridos de grafeno-TiO2 se han preparado mediante un método hidrotérmico fácil para mejorar el rendimiento fotocatalítico y se han aplicado para la degradación sinérgica del antibiótico fluoroquinolona en el sistema de plasma de descarga pulsada (PDP).	Las caracterizaciones de la estructura y la morfología, el estado de enlace químico, la propiedad óptica y la propiedad electroquímica muestran que los nanocompuestos de grafeno-TiO2 pueden hibridarse con éxito. En comparación con el TiO2 puro, el rango de absorción de luz puede extenderse a la luz visible (<505 nm) y la tasa de recombinación de pares de electrones-agujero disminuye aparentemente en las muestras de grafeno-TiO2.	El experimento de rendimiento de degradación manifiesta una mejora significativa de la eficiencia de eliminación de la flumequina (FLU) cuando las muestras de grafeno-TiO2 se agregan en el sistema PDP. La eficiencia de eliminación más alta puede alcanzar el 99.4% en el sistema PDP / graphene-TiO2 con un contenido de grafeno del 5%, que es 23.7% y 34.6% mayor que en el sistema PDP / TiO2 y el sistema PDP único, respectivamente. En consecuencia, la constante cinética es 3.5 y 4.6 veces mayor que la del sistema PDP / TiO2 y el	Los intermedios de degradación están determinados por LC-MS e IC. La evolución de la toxicidad de las soluciones de reacción de FLU se evalúa en función de la inhibición de la fotobacteria <i>V. fischeri</i> . Finalmente, se propone el mecanismo de degradación de FLU en el sistema PDP / graphene-TiO2. Esta investigación proporcionaría una nueva visión sobre la aplicación de nanocompuestos basados en grafeno en el sistema PDP como una prometedora
18	Degradación fotocatalítica del paracetamol sobre nanoestructuras magnéticas con forma de flor de TiO2 / Fe2O3core (Abdel-Wahab et al., 2017)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2017.01.001">10.1016/j.jphotochem.2017.01.001</a>	En este trabajo, se ha investigado la degradación fotocatalítica del paracetamol (PA) en solución acuosa sobre fotocatalizadores de concha de TiO2 / Fe2O3 con forma de flor magnéticamente separables utilizando una lámpara de mercurio de presión media de 450 W. Se usaron SEM, TEM, N2sorción (método BET), XRD, FTIR, espectroscopía Raman y VSM para caracterizar los fotocatalizadores preparados.	Los resultados mostraron que la fotodegradación y la fotomineralización del paracetamol aumentaron al aumentar el contenido de TiO2 en la cubierta de TiO2 / Fe2O3core. Se usaron GC y GC / MS para identificar los productos intermedios formados durante la degradación del paracetamol. Se identificaron 4-acetamidoresorcinol, 4-acetamidocatecol, hidroquinona, 1,2,4-bencenotriol además de ácidos alifáticos en la mezcla de fotolisado.	En este trabajo, se prepararon los fotocatalizadores de núcleo-cubierta de TiO2 / Fe2O3 magnéticos con diferente contenido de TiO2 y se descubrió que eran fácilmente separables por un campo magnético externo. Las imágenes SEM y TEM demostraron la estructura similar a una flor de Fe2O3 (2–3 nm) decorada con una cubierta de nanopartículas de TiO2 (10–12 nm). Los espectros XRD y Raman mostraron que Fe2O3 contiene, al contrario de Amarjargal et al. resultados, hematita en dos fases (α-Fe2O3) y maghemita (γ-Fe2O3), mientras que TiO2 está presente en la fase única, anatasa.	Los resultados mostraron que el paracetamol se degradó completamente después de 90 minutos bajo irradiación ligera en presencia de 50% de TiO2 / Fe2O3 y se ha mineralizado el 66% de paracetamol. Los ácidos se identificaron usando muestras auténticas, análisis GC y GC / MS, como productos intermedios durante la degradación fotocatalítica de paracetamol sobre TiO2 / Fe2O3.

19	Degradación fotocatalítica de seleccionados Productos farmacéuticos que usan g-C3N4 y Nanomateriales de TiO2(mýkalová et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.3390/nano9091194">https://doi.org/10.3390/nano9091194</a>	El nitruro de carbono grafitico exfoliado (g-C3N4) y dos nanomateriales disponibles comercialmente de dióxido de titanio (P25 y CG300) se analizaron para determinar la degradación fotocatalítica de paracetamol (PAR), ibuprofeno (IBU) y diclofenaco (DIC).	Antes de los experimentos fotocatalíticos, los nanomateriales se caracterizaban por métodos comunes, como la difracción de rayos X (XRD), la espectroscopía de reflectancia difusa UV-VIS (DRS), la espectroscopía infrarroja transformada de Fourier en modo de reflexión total atenuada (FTIR-ATR), el electrón de transmisión microscopía (TEM), fisisorción de nitrógeno y adsorción dinámica de vapor (DVS) de agua.	Los tamaños y el área de superficie específica (SSA) de las nanopartículas de TiO2 fueron 6 nm y 300 m <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup> para CG300 y 21 nm y 50 m <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup> para P25. El SSA de g-C3N4 fue 140 m <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup> . Todos los experimentos fotocatalíticos se realizaron bajo radiación UV (368 nm), así como VIS (446 nm). TiO2 P25 fue el fotocatalizador más activo bajo radiación UV y g-C3N4 fue el más activo bajo irradiación VIS. Los rendimientos de la fotodegradación se evaluaron mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y los intermedios de reacción se identificaron mediante cromatografía de	El paracetamol y el ibuprofeno se eliminaron totalmente, pero se observaron los intermedios de diclofenaco incluso después de 6 h de irradiación. Se identificaron algunos intermedios, como el ácido carbazol-1-acético, la 2,6-dicloranilina y los derivados hidroxilados de diclofenaco. Este estudio mostró que g-C3N4 es un fotocatalizador prometedor para la degradación de productos farmacéuticos en un ambiente acuoso, bajo luz visible.
20	Eliminación rápida de la toxicidad de contaminantes orgánicos por la fotocatalisis de esquemas por pasos SnFe2O4 / ZnFe2O4 respetuosos con el medio ambiente y magnéticamente recuperables (Wang et al., 2019)	10.1016/j.cej.2019.1222	Un proceso de degradación fotocatalítica eficiente y respetuoso con el medio ambiente por no tóxico y fácil de recuperar.Los fotocatalizadores son deseables para el tratamiento de aguas residuales.	La toxicidad y la eliminación efectiva de la tetraciclina y sus intermedios se evalúa mediante fotocatalisis para indicar si es favorable o no para las aguas residuales.	Las nano-heterouniones SnFe2O4 / ZnFe2O4 de esquema escalonado (S-esquema) con no toxicidad, fuerte magnetismo y alto rendimiento fotocatalítico de luz visible se sintetizaron mediante una estrategia solvotermal de un solo paso, y el contenido de SnFe2O4 se optimizó. Las heterouniones de SnFe2O4 / ZnFe2O4 al 5% exhibieron un rendimiento fotocatalítico de luz visible óptimo en tetraciclina degradante con 93.2% la eficiencia de eliminación y la DQO de las aguas residuales farmacéuticas reales disminuyeron en un 77.5% debido a la eficiencia producción de especies activas. Además, el 5% de las heterouniones SnFe2O4 / ZnFe2O4 es muy conveniente para ser reciclado de la solución que usa un campo magnético externo, y la actividad fotocatalítica permanece casi sin cambios en el uso repetido debido a su fuerte	Más significativamente, la evaluación de toxicidad confirmó la no toxicidad de SnFe2O4 / ZnFe2O4 y el rápido proceso de eliminación de la toxicidad de la tetraciclina por fotocatalisis, lo que indica que la heterounión del esquema S SnFe2O4 / ZnFe2O4 respetuosa con el medio ambiente y magnéticamente recuperable es un fotocatalizador prometedor para el tratamiento de aguas residuales.

21	Mecanismo de fotodegradación y toxicidad genética del bezafibrato por catalizadores de Pd / gC3N4 bajo irradiación de luz solar simulada: el papel de las especies activas (Yin et al., 2019)	10.1016/j.ccej.2019.1221	Los productos farmacéuticos de fibrato son un grupo de contaminantes emergentes ubicuos, que representan una amenaza potencial para el ecosistema y la salud humana. La fotocatalisis con energía solar inagotable es una opción sostenible para la eliminación de fotólisis de productos farmacéuticos de fibrato del agua.	Para el uso de alta eficiencia de la luz solar, el diseño de bajo costo y Los fotocatalizadores Pd / g-C3N4 impulsados por energía solar de alta actividad aprovecharon al máximo la transformación plasmática y de electrones Pd para la fotocatalisis. Los fotocatalizadores de Pd / g-C3N4 con diferente deposición de Pd se diseñaron y aplicaron sistemáticamente para investigar la degradación del bezafibrato (BZF), un producto farmacéutico de fibrato representativo con dos anillos de benceno y una cadena de fibrato en su estructura.	Los catalizadores Pd / g-C3N4 preparados prepararon actividades fotocatalíticas prometedoras en la degradación de BZF con respecto a la de g-C3N4 bajo irradiación solar simulada (2,9 veces) y luz visible (2,4 veces), así como estabilidad fotocatalítica. Las posibles especies activas producidas durante el proceso fotocatalítico de BZF se revelaron y verificaron mediante el análisis de la resonancia de espín de electrones (ESR).	Los resultados revelaron que el radical hidroxilo (% OH) contribuyó con el 79.39% de la degradación de BZF. También se propusieron tres posibles rutas fotocatalíticas principales de BZF con el cálculo de la densidad de elección en la frontera (FED), incluido el sustituyente R-oxi, el% de adición de OH y la dechloración oxidativa. Se consideró que la utilización de catalizadores de Pd / gC3N4 es de baja toxicidad y segura, y la genotoxicidad de la solución de BZF podría disminuir después de la fotodegradación. Este estudio presenta un enfoque factible para la eliminación mejorada de
22	Aplicación de nanotubos de carbono para la eliminación de contaminantes emergentes de interés en sistemas de tratamiento de aguas residuales y de ingeniería (Kurwadkar et al., 2019)	10.1007/s41204-019-00	Apply carbon nanotubes for the removal of emerging pollutants of interest in wastewater and engineering treatment systems.	Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and endocrine disrupting compounds (EDCs) have been detected in waste water effluents and surface water bodies at concentrations ranging from parts per trillion levels (ng L <sup>-1</sup> ) to parts per billion (µg L <sup>-1</sup> ) levels. Currently, engineered wastewater treatment plants are unable to remove PPCPs and EDCs completely, resulting in the treatment plants becoming a source of secondary pollution. Research on carbon nanotubes (CNTs) has shown that the tubular cylinders of carbon atoms due to their large specific surface area and developed pore structure are capable of adsorbing and remediating PPCPs and EDCs.	This study provides a comprehensive literature review of the application of CNTs for removal of the emerging contaminant of concern from water and wastewater. Their application, particularly in the areas of adsorption, filtration and photocatalytic degradation of PPCPs and EDCs, is discussed in detail. Also, the feasibility of a full-scale implementation of CNTs in existing water and wastewater treatment plants is discussed.	They also possess excellent photocatalytic activity and high mechanical strength. When combined with membrane filtration, CNTs demonstrate excellent removal of PPCPs and EDCs with removal up to ~95% in optimum experimental conditions. Nanocomposite membranes containing CNTs have shown promising results in the removal of triclosan, acetaminophen, and ibuprofen. In addition to its proven potential in adsorption and membrane filtration, CNTs can also be used in photocatalytic
23	Aplicación del reactor de película descendente fotocatalítica para dilucidar las vías de degradación del diclofenaco y el ibuprofeno	10.3390 / revestimiento	The degradation pathway and identification of transformation products of pharmaceutical residues are crucial to elucidate the environmental fate of photocatalytic decomposition of these pollutants in aqueous media.	The degradation process might lead to creation of other possible emerging contaminants. In this study, the degradation of DCF and IBP in aqueous solutions was investigated.	coated TiO <sub>2</sub> on a Pilkington Active glass was used as a photocatalyst under UVA illumination, in a planar falling film reactor. Pilkington Activ™ glass was used as a photocatalyst and a falling liquid film generator. Degradation kinetics of both pharmaceuticals followed a pseudo-first-order model.	The results showed that the mineralization rate of both pharmaceuticals through photocatalysis was very low. Low chain carboxylic acids, such as formic, acetic, oxalic, malonic, and succinic acids were the main by-products. A pathway of DCF and

24	Mineralización fotocatalítica de morfina duramente degradable por nanoestructuras visibles Ag @ g-C3N4 impulsadas por la luz (Azizi et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1007/s11356-019-06274-9">10.1007/s11356-019-06274-9</a>	La entrada de algunos contaminantes farmacéuticos de degradación dura puede causar daños irreparables a los humanos y otros organismos; por lo tanto, eliminar estos contaminantes del agua es una de las actividades más importantes en el campo de la purificación del agua. En este trabajo, la mineralización de la morfina se realizó utilizando el método de degradación fotocatalítica.	Las nanoestructuras de nitruro de carbono grafítico (g-C3N4), debido a sus prometedoras características ajustables, se eligieron como fotocatalizador heterogéneo nanoestructurado dirigido por luz visible. Para potenciar la actividad fotocatalítica, se dopó g-C3N4 con metal noble Ag debido a su efecto de resonancia de plasmón superficial y actuando como un sumidero de electrones.	La fotodegradación de la morfina se evaluó a diferentes valores de pH, la dosis del fotocatalizador, la concentración inicial de morfina y el% de carga de Ag bajo la luz solar como energía verde. La eficiencia máxima se obtuvo en la muy baja concentración de fotocatalizador Ag @ g-C3N4 con un valor bajo superior de 0.17 g L <sup>-1</sup> . Se logró una mineralización casi completa de la morfina por Ag @ g-C3N4 con un porcentaje de contenido de metal igual a 5 en 180 min y pH = 2. Además, utilizando varios captadores de especies activas, se identificó el radical anión superóxido como la principal especie responsable en la reacción de fotocatalisis de degradación de la morfina.	El dopaje con Ag en la estructura de g-C3N4 es un parámetro significativo en la separación efectiva de los pares de agujeros de electrones producidos por la luz, creando así especies oxidativas activas que aumentan la actividad fotocatalítica en una muestra dopada.
25	Rendimiento fotocatalítico mejorado de espinela dopada con Ru nanoferritas para el tratamiento de contaminantes orgánicos recalcitrantes en aguas residuales (Singh et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1007/s10971-019-01000-0">.org/10.1007/s10971-019-01000-0</a>	Se ha llevado a cabo un estudio detallado sobre el efecto de sustituir Ru en la red de nanoferritas de espinela, MRu <sub>x</sub> Fe <sub>2-x</sub> O <sub>4</sub> (M = Ni, Cu; x = 0.0, 0.02, 0.06, 0.1, 0.4) preparado mediante el método sol-gel. Los patrones de difracción de rayos X en polvo para todas las nanoferritas coincidieron bien con el patrón estándar que confirma la pureza.	Las imágenes HR-TEM transmiten la forma casi esférica con ligera aglomeración. Los estudios magnéticos revelaron que todas las muestras estaban saturadas magnéticamente y fácilmente recuperables de la mezcla de reacción.	El presente trabajo informa la síntesis de nanoferritas puras y Ru-dope, MRu <sub>x</sub> Fe <sub>2-x</sub> O <sub>4</sub> (M = Ni, Cu; x = 0, 0.02, 0.06, 0.1, 0.4) a través del método sol-gel. Se utilizaron técnicas analíticas como FT-IR, XRD, HR-TEM y EDS para el análisis estructural y morfológico.	La tasa de degradación de ambos contaminantes mejoró con el dopaje de Ru, lo que podría deberse a la presencia de más niveles de energía y la presencia de Ru en los sitios octaédricos catalíticamente activos en ferrita. sub-celosis. Sobre la base de este estudio, se concluyó que las nanoferritas de espinela dopadas con Ru demostraron ser un fotocatalizador más eficiente que las
26	Fotocatalizador de heterounión conducido por luz visible de películas delgadas de CuO-Cu <sub>2</sub> O para la degradación fotocatalítica de contaminantes orgánicos (Dasineh	<a href="https://doi.org/10.3390">https://doi.org/10.3390</a>	En este trabajo, se desarrolló un fotocatalizador de óxido de cobre de alto rendimiento integrando películas delgadas de óxido cúprico (CuO) y óxido cuproso (Cu <sub>2</sub> O), que mostraron un rendimiento superior para la degradación fotocatalítica del azul de metileno (MB) en comparación con el fotocatalizador de CuO y	Todos los instrumentos (Singapur) utilizados en este estudio para la caracterización de muestras fueron los mismos que los de nuestra publicación anterior. Los objetivos estequiométricos de CuO y Cu <sub>2</sub> O se usaron para depositar películas delgadas de Cu <sub>2</sub> O y CuO. Toda la deposición se realizó a una potencia de pulverización por radiofrecuencia de 200 W y una presión de trabajo de 3 mTorr.	Se usaron sustratos de vidrio recubiertos con óxido de estaño dopado con flúor y vidrio (FTO) para preparar las muestras. La eficiencia incidente de fotón a corriente (IPCE) se llevó a cabo bajo una iluminación de luz estándar de 300 W desde una lámpara de xenón con un reflector parabólico integrado. Se usó una lámpara de xenón de 300 W con un filtro de corte como fuente de luz	Nuestros resultados muestran que un fotocatalizador de heterounión de películas delgadas de CuO-Cu <sub>2</sub> O podría aumentar significativamente la recolección de carga, reducir la tasa de recombinación y mejorar la actividad fotocatalítica.

27	Estado actual en el desarrollo de reactores fotocatalíticos de membranas , para el tratamiento de contaminantes orgánicos persistentes en el agua y las aguas residuales (Montalván et al., 2019).	<a href="http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445559634012">http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445559634012</a>	Se identificó el estado actual en el desarrollo de reactores fotocatalíticos de membranas , para el tratamiento de contaminantes orgánicos persistentes en el agua y las aguas residuales, mediante una investigación documental.	La revisión abarcó los siguientes aspectos: las características de las membranas empleadas en el proceso fotocatalítico, la influencia de los parámetros operacionales en el proceso fotocatalítico, las configuraciones y diseños de los reactores 422 fotocatalíticos de membranas, y el tratamiento de contaminantes orgánicos persistentes con ayuda de estos reactores.	Se mostraron las ventajas y desventajas de los rectores fotocatalíticos con TiO2 inmovilizado en la membrana, por ser este diseño uno de los más empleados. Finalmente se mostraron ejemplos exitosos, tanto a escala de laboratorio como a es cala piloto, del uso de los reactores fotocatalíticos de membranas para el tratamiento de contaminantes orgánicos persistentes, presentes en el agua y las aguas residuales.	Se identifica el estado actual en el desarrollo de reactores fotocatalíticos de membranas , para el tratamiento de contaminantes orgánicos persistentes en el agua y las aguas residuales. Estos reactores pueden trabajar en todo el rango de 436 procesos de filtración, sin embargo, su uso en la ultrafiltración y la microfiltración es predominante. Una amplia gama de materiales se emplea en
28	Descolorización del colorante negro reactivo 5 por fotocatalisis heterogénea con TiO2 / UV (García et al., 2018)	<a href="https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n2.67922">https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n2.67922</a>	En este trabajo se evaluó la decoloración de soluciones acuosas con NRB mediante fotocatalisis heterogénea con TiO2/UV.	Reactive Black 5 (RB5, 85% p / p de DyStar, Alemania), fue donado por Fabricato – Tejicondor S.A., de la ciudad de Medellín, Colombia	La reacción se realizó en un fotorreactor de aluminio equipado con cinco lámparas. El efecto de la concentración de TiO2 (0,1; 0,175 y 0,25 g L-1), y NRB (50, 75 y 100 mg L-1) y el pH (3, 7 y 11) fue evaluado durante 14 h, tomando un diseño estadístico experimental Box-Behnken. La decoloración completa del NRB se obtuvo después de 14 h (0,175 g L-1 de TiO2, 50 mg L-1 de NRB, y pH 3).	Se alcanzó un 98,44% de decoloración después de 10 h (0,25 g L-1 de TiO2, 50 mg L-1 de NRB, y pH 7). Se encontró que el mejor porcentaje de decoloración del NRB (99,51%) se obtuvo a las 10 h de exposición a luz UV, utilizando 0,5 g L-1 de TiO2, 50 mg L-1 del colorante y un pH de 3. Los ensayos de citotoxicidad sobre la línea celular HepG2 indicaron que
29	Uso del proceso de foto-Fenton para descubrir la degradación de los medicamentos presentes en el agua de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria	No tiene.	Este trabajo utiliza AOP (conocido como el proceso foto-Fenton) para estudiar la degradación del ácido acetil - salicílico farmacéutico, el diclofenac, la dipirona y el paracetamol en distintos efl uentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.	The data was collected before and after the treatment of effluence at three WWTPs (one appertaining to the Pharmaceutical Industry and the other two to domes -tic sewage). In order to evaluate the efficiency of the conventional treatment processes at these WWTPs, physicochemical analyses of effluents were run.	The quality parameters analysed were: (i) chemical oxygen demand (COD), (ii) biochemical oxygen demand (BOD), (iii) total solids (TS), (iv) total volatile solids (TVS), (v) total fi xed solids (TFS), (vi) pH and (vii) iron (Fe), using the Standard Methods for the Exa -mination of Water and Wastewater. The presence of the following pharmaceuticals in exit water at each of the WWTPs was	The use of the photo-Fenton AOP proved to be efficient for the degradation of the pharmaceuticals studied, which were present at the exit of the WWTPs. The degradation percentages attained were 100% for diclofenac and paracetamol, 71.9% for the ASA and 97.6 % for dipyrone; the process also proved efficient in the
30	Au nanopartículas / Nanopilares TiO2 películas delgadas meso-porosas en la degradación de la tetraciclina usando luz UV-A (Tiwari et al., 2018).	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.09.027">https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.09.027</a>	Los productos farmacéuticos se metabolizan en parte en los sistemas biológicos una vez administrados y finalmente ingresan al medio acuático a través de las heces o las orinas y se encuentran contaminantes emergentes del agua. Por lo tanto, plantea un serio y amenaza generalizada para la vida acuática o incluso para la salud humana.	Se obtuvieron nuevas películas delgadas de nanopartículas meso-porosas de Au / TiO2 por síntesis de plantilla usando polietilenglicol como medio de relleno. Los materiales se caracterizaron por métodos analíticos avanzados. Los fotocatalizadores se emplearon para la degradación fotocatalítica de la tetraciclina a partir de soluciones acuosas utilizando luz UV-A (max 330 nm). Varios estudios paramétricos fisicoquímicos permitieron deducir el mecanismo de degradación. Un porcentaje significativo de tetraciclina fue mineralizado por el tratamiento.	La penicilina fue el primer antibiótico descubierto en 1928, desde entonces se descubren e introducen diversos antibióticos con fines terapéuticos o subterapéuticos o incluso se complementan para prevenir enfermedades en el ganado	Además, la eficiencia fotocatalítica se encuentra significativamente más alta que la degradación fotolítica de la tetraciclina, que pretende la mayor aplicabilidad de los fotocatalizadores delgados.

31	Síntesis del compuesto AgBr @ Ag @ TiO <sub>2</sub> estructurado en sándwich fotocatalizador y estudio de su rendimiento fotocatalítico para oxidación de alcoholes bencílicos a benzaldehídos (Zhang et al., 2016)	<a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.015">http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.015</a>	Los materiales fotocatalíticos a base de haluro de plata se han utilizado con éxito en la degradación y desinfección de contaminantes orgánicos, pero su aplicación en la oxidación de alcoholes a aldehídos nunca se ha informado. Aquí, se ha fabricado un fotocatalizador compuesto AgBr @ Ag @ TiO <sub>2</sub> estructurado en sándwich por una ruta fácil de varios pasos y, por primera vez, se estudia su rendimiento fotocatalítico para la oxidación de los alcoholes bencílicos a benzaldehídos.	Se usó una técnica de precipitación de doble chorro para construir un núcleo de AgBr cúbico uniforme, se empleó un método de hidrólisis controlado por cinética recubriendo la capa de cubierta de TiO <sub>2</sub> , y se realizó irradiación con luz UV para formar Ag NPs entre el núcleo de AgBr y la capa de cubierta de TiO <sub>2</sub> . El grosor de la capa de cubierta de TiO <sub>2</sub> se ajustó ajustando la concentración de NH <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O en el proceso de hidrólisis controlada por cinética. Además, se selecciona la oxidación fotocatalítica del alcohol bencílico (BA) a benzaldehído (BAD) como reacción modelo para comparar las actividades fotocatalíticas del blanco TiO <sub>2</sub> , AgBr @ Ag y AgBr @ Ag @ TiO <sub>2</sub> .	La oxidación de los alcoholes a los aldehídos correspondientes es un tipo de reacción orgánica significativa en la síntesis de productos químicos finos, porque los aldehídos se usan ampliamente como intermediarios de las industrias de fragancias, confitería y farmacéutica. Desafortunadamente, la ruta sintética orgánica tradicional de los alcoholes a los aldehídos correspondientes no solo implica los oxidantes tóxicos y corrosivos (como ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , Cr <sup>4+</sup> y Cl <sub>2</sub> ), sino que también consume una gran cantidad de energía para proporcionar la temperatura y la presión que necesitan las reacciones. En las últimas décadas, se han dedicado enormes esfuerzos a explorar estrategias ecológicas más amigables para el medio ambiente al realizar la transformación de	Se utilizó un método de hidrólisis controlado por cinética empleado para construir una carcasa de TiO <sub>2</sub> porosa, y se adoptó la reducción de luz UV para generar nanopartículas de Ag (NP) entre el núcleo de AgBr y la carcasa de TiO <sub>2</sub> .
32	Nuevos fotocatalizadores magnéticos WO <sub>3</sub> / Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> : preparación, caracterización y fotodegradación de tiacloprid (Banić et al., 2018)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.10.025">https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.10.025</a>	El enorme desarrollo industrial y el crecimiento de la población humana ha llevado a problemas ambientales muy graves debido a la liberación incontrolada de compuestos nocivos. El uso creciente de pesticidas, productos farmacéuticos, productos de estilo de vida, aditivos alimentarios, metales pesados y productos derivados del petróleo también han contribuido al aumento de la contaminación. La mayoría de estos compuestos se caracterizan por una alta estabilidad ambiental.	Este trabajo presenta la caracterización de nuevos catalizadores sintetizados WO <sub>3</sub> / Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> e investiga su actividad fotocatalítica para la descomposición de tiacloprid bajo rayos UV y radiación solar simulada. Se sintetizaron cuatro nanopulvos WO <sub>3</sub> / Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> con diferentes cantidades de WO <sub>3</sub> mediante el método de coprecipitación química. El análisis XRD mostró la presencia de hematita y magnetita en fases nano-dimensionales de Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> en los catalizadores. La eficiencia de degradación de tiacloprid en presencia de 6.1 WO <sub>3</sub> / Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> bajo radiación solar simulada fue 2.2 veces mayor en comparación con Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> . Bajo un campo magnético externo, un aumento significativo en los catalizadores.	Para el tratamiento de la contaminación del agua, una suspensión de TiO <sub>2</sub> es el método más aplicado. El principal inconveniente de este método es que los fotocatalizadores suspendidos pueden ser difíciles de separar del agua tratada y, por lo tanto, difíciles de reutilizar. Este problema es particularmente relevante para los nanomateriales, cuya dificultad en la separación dificulta su aplicación práctica a escala industrial y genera más contaminación. Una posible solución que se investiga aquí, es el uso de materiales magnéticos como material de soporte. Las nanopartículas de Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> tienen la	Los fotocatalizadores WO <sub>3</sub> / Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> con diferentes contenidos de WO <sub>3</sub> , se prepararon con éxito mediante un método de coprecipitación química simple. El contenido de la fase de magnetita en los polvos de WO <sub>3</sub> / Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> aumentó al aumentar el contenido de WO <sub>3</sub> , y alcanzó casi el 80% para el 6.1 WO <sub>3</sub> / Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , mientras que la muestra sin modificar con WO <sub>3</sub> contiene menos del 10% de magnetita después del procedimiento de síntesis aplicado.

33	<p>Novedoso carbocatalizador Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> a base de shungita con alta degradación fotocatalítica de tetraciclina bajo irradiación de luz visible (Bilgin Simsek et al., 2019)</p>	<p><a href="https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.05.012">https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.05.012</a></p>	<p>El tungstato de bismuto (Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub>) ha ganado una gran cantidad de intereses de investigación como un excelente catalizador inducido por luz visible con un intervalo de banda. Sin embargo, la fotoabsorción de Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> se superpone con una pequeña parte de la región solar y la rápida recombinación de los portadores de carga fotoexcitados limita su rendimiento de conversión de energía. La fabricación de fotocatalizadores heteroestructurados con potenciales de banda coincidentes es uno de los enfoques prometedores para extender el uso de Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub>. Se han aplicado varios enfoques, incluidos los depósitos de metales nobles.</p>	<p>La shungita cruda del distrito de Shunga (Karelia, Rusia) se convirtió en polvo con un tamaño de partícula promedio de 1–2 mm. El polvo se lavó varias veces con agua destilada y se sometió a ultrasonidos durante 1 h. Después de la filtración, el polvo se secó al aire y se calcinó a 800 ° C durante 1 h. El material fue codificado como SH. Los carbocatalizadores Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> a base de shungita se prepararon con diferentes cargas de shungita (5–15% en peso) por método hidrotérmico. Bi(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·5H<sub>2</sub>O (3.97 g) se disolvieron en una solución de HNO<sub>3</sub> 2.5 M (25 mL), mientras que Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O (1.33 g) se disolvieron en agua destilada (25 mL) durante 30 minutos a temperatura ambiente. Las soluciones claras se mezclaron homogéneamente. Mientras tanto, cierta cantidad de SH se dispersó en 10 ml de agua destilada con ultrasonidos durante 30 minutos.</p>	<p>Los materiales fotocatalíticos carbonáceos han llamado la atención en los últimos años para mejorar el rendimiento fotocatalítico. Ha habido muchos informes sobre la preparación de diferentes fuentes de carbono, como carbón activado, grafeno, nanotubos de carbono, etc. El carbocatalizador Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> mostró una absorción más fuerte en la región visible donde se logró un intervalo de banda inferior de 2.6 eV. Los catalizadores bajo UV-A y la irradiación de luz visible se investigaron utilizando TC como un producto farmacéutico objetivo. En primer lugar, se investigó el rendimiento de adsorción TC de muestras de SH, BiW y BiW / SH sin procesar para aclarar el efecto sinérgico de la adsorción / fotocatalisis .</p>	<p>Este trabajo abre nuevas perspectivas para la evaluación de shungita como una nueva fuente para la síntesis de catalizadores carbonosos en el campo de la fotocatalisis.</p>
34	<p>Degradación fotocatalítica eficiente deciprofloxacina y bisfenol Abajo de luz visible usando Gd<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> cargado ZnO / compuesto de bentonitenano (Selvakumar et al., 2019)</p>	<p><a href="https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.03.178">https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.03.178</a></p>	<p>Las fluoroquinolonas son el grupo de material sintético y el amplio espectro de compuestos antibacterianos debido a su amplio espectro de actividad. Las fluoroquinolonas son conocidas por el tratamiento de la tuberculosis, el trastorno digestivo, el ántrax, etc. La ciprofloxacina pertenece a la clase de las fluoroquinolonas, que es la quinolona antibacteriana incolora y más utilizada. La degradación de estos contaminantes emergentes CF y BPA fue hecho usando procesos de oxidación avanzados (AOP). Los compuestos farmacéuticos difunden en el medio ambiente numerosos procesos e indirectos. La fotólisis es una forma absoluta</p>	<p>Los estándares analíticos de alta pureza (&gt; 99%) de ciprofloxacina farmacéutica investigada fueron suministrados por Sigma-Aldrich. Todos los químicos fueron usados sin purificación adicional. Los espectros de reflectancia difusa UV-visible (DRS-UV) de las muestras se midieron con un espectrofotómetro UV-2450 Shimadzu UV-Visible. FT-IR. Los espectros se registraron usando el espectrofotómetro Shimadzu IR Tracer-100 FT-IR como discos KBr. Los espectros de fotoluminiscencia (PL) de los compuestos se registraron mediante el espectrómetro de fluorescencia Perkin Elmer LS 55. La morfología de la superficie y el tamaño de las muestras se observó mediante microscopía electrónica de barrido (EVO-80, CARL ZEISS) operada a un voltaje de aceleración de 20 kV.</p>	<p>El nanocompuesto Gd<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> / ZnO / bentonita (GWZB) se preparó por proceso hidrotérmico y se caracterizó. Los espectros de DRS mostraron una absorción visible aumentada con la disminución del intervalo de banda de GWZ mediante la adición de bentonita. La actividad fotocatalítica se estudió en la degradación de ciprofloxacina (CF) y bisfenol-A (BPA) en medio acuoso usando luz visible. Bajo irradiación durante 60 minutos, la fotodegradación de CF y BPA con 20 mg de GWZB son 97.9 y 98.3% respectivamente. La fotodegradación fue optimizada por varias formas de catalizadores, las concentraciones de CF y BPA. GWZB es estable con un buen rendimiento para fotodegradación.</p>	<p>El compuesto de ZnO / bentonita Gd<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> incorporado (GWZB) ha aumentado la absorción en la región visible y se ha demostrado que es un mejor catalizador activo visible que Gd<sub>2</sub>WO<sub>6</sub>, ZnO y GWZ para la degradación de los contaminantes emergentes ciprofloxacina y BPA. El principal ROS es el radical superóxido. El excelente rendimiento de reciclaje del GWZB se mantuvo bien incluso después de múltiples ciclos de reacción fotocatalítica.</p>

35	Degradación fotocatalítica del antibiótico de cefoxitina sódica usando el nuevo compuesto BN / CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (Kumar et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119076">https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119076</a>	Los componentes principales en las aguas residuales son una variedad de patógenos, bacterias, alimentos, pelos, fibras de papel, proteínas, drogas, azúcares, aceites, detergentes, productos farmacéuticos, inorgánicos (metal, cerámica), pinturas, colorantes, pesticidas, herbicidas, etc. Los efectos tóxicos de estos contaminantes han sido objeto de interés recientemente, ya que presentan una grave amenaza para el medio ambiente, los seres humanos y las especies acuáticas (Castiglioni et al., 2006; Johannessen et al., 2015; Oveisi et al., 2019; Sun et al., 2019a, b; Wilkinson et al., 2016).	Se preparó una solución nueva de CFT para fotocatalisis disolviendo su cantidad fija en agua desionizada. Para la síntesis del compuesto BN / CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> se usó un método hidrotérmico para la síntesis de CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> y compuestos BN / CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> . Inicialmente, 50 ml de cada 0.05 M, se mezclaron soluciones de Al <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) 2.9H <sub>2</sub> O y 0.15 M Cd (NO <sub>3</sub> ) 2.4H <sub>2</sub> O y se agitó durante 30 min. A partir de entonces, una cantidad fija de BN fue añadido a la solución preparada y sonicada durante 30 min. Al solución anterior de BN y sal metálica, 0.9 g de urea y 25 mL 1.0 M. Se añadió NaOH bajo agitación continua y después de 1 h, la solución se transfirió al reactor hidrotermal y posteriormente se calentó a 160 ° C durante 18 h, dando como resultado la formación de precipitado blanco.	La presencia de antibióticos en las aguas residuales y el agua potable es una preocupación cada vez mayor en todo el mundo, por lo tanto, se necesita desarrollar una tecnología sostenible avanzada para descontaminar los antibióticos de los recursos hídricos. Aquí, una serie de nuevos fotocatalizadores de compuestos de nitrilo de boro / aluminato de cadmio (BN / CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) se sintetizaron usando metodología hidrotérmica. Así, los compuestos BN / CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sintetizados se analizaron para determinar la degradación fotocatalítica del antibiótico cefoxitina sódica (CFT) en solución acuosa.	Este artículo informa sobre la síntesis y caracterización de una serie de compuestos BN / CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> con diferentes cantidades de BN. Los catalizadores preparados se evaluaron para determinar la degradación de los antibióticos CFT. Los resultados revelaron que el acoplamiento de BN con CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> afecta significativamente el área de superficie, así como las propiedades ópticas que en consecuencia mejoró la degradación de CFT. L
36	Eliminación de 4-clorofenol por fotocatalisis con luz visible usando nanotitania dopada con sulfato de amonio-hierro (II) (Finella et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.001">https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.001</a>	Los compuestos fenólicos son carcinógenos o promotores que aumentan la genotoxicidad de los carcinógenos ambientales (Weisburger, 1992). Los derivados clorados de fenoles son sustancias nocivas que constituyen un problema de salud pública debido a su mayor toxicidad y su carcinogenicidad (Igbinsola et al., 2013). Estos compuestos apenas biodegradables se liberan en el medio ambiente como resultado de actividades industriales, el uso de pesticidas o como resultado de un proceso incompleto.	En este trabajo se presenta un nuevo método de síntesis de sol-gel para obtener fotocatalizadores dopados con Fe / N / S-TiO <sub>2</sub> activos bajo irradiación de luz visible. Se caracteriza el catalizador sintetizado. Experimentos comparativos con TiO <sub>2</sub> P25 comercial demuestran que el fotocatalizador dopado con Fe / N / S-TiO <sub>2</sub> supera en más de un orden de magnitud la eliminación de 4-clorofenol. Se exploran y optimizan las variables operativas que afectan el rendimiento del tratamiento fotocatalítico. La fotocatalisis se realizó utilizando un reactor por lotes equipado con 5 diodos emisores de luz (LED) azules como fuente de luz con una longitud de onda máxima ( $\lambda_{max}$ ) de 450 nm y una intensidad de luz de 16,85 mW cm <sup>-2</sup> (HR16, 1W / 110).	Los compuestos aromáticos halogenados son tóxicos y cancerígenos. Este es el caso del 4-clorofenol (4-CP), un contaminante prioritario que se encuentra en grandes cantidades en los efluentes de aguas residuales industriales de las industrias farmacéutica, de tintes, pulpa y papel. La exposición a largo plazo a 4-CP, incluso a baja concentración, está asociada a la alteración endocrina. La fotocatalisis es un proceso de oxidación avanzado prometedor que logra la degradación completa de los contaminantes orgánicos. El uso de Las lámparas UV socavan la aplicación real de fotocatalisis debido a los requisitos de energía eléctrica.	La fotocatalisis es un prometedor proceso de oxidación avanzada para la remediación de la contaminación orgánica. Los fotocatalizadores convencionales de TiO <sub>2</sub> se basan en el uso de luz UV para fotogenerar oxidantes de manera eficiente, lo que se presenta como un desafío importante debido a los altos requisitos de energía asociados con las fuentes de irradiación UV (es decir, lámparas de Hg). El método de síntesis sol-gel desarrollado aquí permite el dopaje eficiente de TiO <sub>2</sub> que conduce a la activación fotocatalítica en el rango de luz visible. El catalizador Fe / N / S-TiO <sub>2</sub> logró una eliminación completa de 10 mg L <sup>-1</sup> de 4-CP en 180 minutos de tratamiento fotocatalítico. La evaluación del efecto del pH inicial demuestra el



37	Degradación fotocatalítica mejorada de levofloxacin por nanocapas BiOCl dopadas con Fe bajo irradiación de luz LED (Zhong et al., 2019)	<a href="https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123148">https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123148</a>	Los compuestos farmacéuticos generalmente poseían estructuras complejas y poca biodegradabilidad, lo que podría ser realmente difícil de eliminar del agua influyente. Como uno de los antibióticos de amplio espectro, la levofloxacin (LVX) se utilizó indiscriminadamente para la antiinflamación como medicamentos humanos que conducen a una concentración residual creciente en el agua subterránea. Con respecto a la seguridad del agua potable, el proceso típico de tratamiento de agua mostró una degradación limitada de LVX. Por lo tanto, los procesos de oxidación avanzada (AOP) han recibido más atención para el tratamiento.	Los experimentos por lotes se llevaron a cabo en un reactor cilíndrico y se repitieron tres veces utilizando una lámpara LED (lámpara de cubo, diámetro 10 cm, 448,2 nm, 30 W, fuente de luz azul, flujo de radiación a 61,2 W cm <sup>-2</sup> , los espectros se mostraron en la Fig. S2) a temperatura ambiente. El pH inicial se ajustó con soluciones de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> o NaOH 0,1 mM. En cada reacción, el catalizador de montaje dado se suspendió en la solución (15 mg L <sup>-1</sup> ) solución durante al menos 60 minutos agitando vigorosamente para obtener el equilibrio de absorción en un ambiente oscuro. Luego, se añadió cierto persulfato en la suspensión bajo irradiación con LED y se extrajeron regularmente alícuotas de 1 ml y se filtraron a través de una membrana de 0,22 μm antes de la inyección en HPLC (Agilent 1100 LC / MSD, columna C8, 293 nm).	En esta investigación, las nano hojas BiOCl dopadas con Fe se sintetizaron con éxito a través del método hidrotérmico controlado y se aplicaron en la degradación de levofloxacin (LVX) mediante el proceso foto-Fenton basado en radicales sulfato. La banda de conducción de BiOCl dopado con Fe se calculó en 2,77 eV en comparación con BiOCl (3,24 eV), y mostró una notable actividad fotocatalítica impulsada por luz LED visible con el absorción de luz visible expandida. En este trabajo, el objetivo es investigar la mejora de las propiedades catalíticas de Fe activación mediada por BiOCl dopada de persulfato bajo irradiación LED hacia degradación de antibióticos, permitiendo que el material sea un catalizador efectivo y adecuado.	Sobre la base de los resultados experimentales y los cálculos de la teoría funcional de densidad, se investigó el papel del mecanismo de degradación fotocatalítica de la degradación de LVX por la muestra de Fe-BiOCl. Además, la vía de degradación de LVX se indujo de acuerdo con los intermedios detectados por LC-MS. Los resultados de esta investigación demostraron la buena viabilidad de Fe-dopado Nano hojas BiOCl que mejorarían la utilización de fotocatalizadores bajo condiciones visibles irradiación de luz.
38	Catalizadores de TiO <sub>2</sub> dopados con boro sintetizados por solvotermia: degradación fotocatalítica de compuestos disruptores endocrinos y productos farmacéuticos bajo irradiación de luz visible. (Bilgin Simsek, E. 2017).	<a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.07.016">http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.07.016</a>	La Fotocatálisis heterogénea es uno de los AOP, es una técnica efectiva para la degradación de compuestos orgánicos persistentes Debido a su fuerte poder oxidante, resistencia a la corrosión fotoquímica a largo plazo y no toxicidad, El óxido de titanio (TiO <sub>2</sub> ), especialmente su fase anatasa, es un bien conocido semiconductor eficiente por su amplia aplicación en degradación de varios contaminantes orgánicos en las fases gaseosa y líquida.	Los fotocatalizadores de TiO <sub>2</sub> dopado con boro (B-TiO <sub>2</sub> ) con actividad de luz visible se sintetizaron con éxito por el método solvotermal. Las caracterizaciones de los productos sintetizados se llevaron a cabo mediante espectroscopía XRD, SEMEDAX, BET, XPS, TGA-DTG y UV-vis. Los valores de separación de banda de TiO <sub>2</sub> disminuyeron con el aumento del nivel de dopaje con boro. El análisis XPS reveló que la estructura intersticial de TiO <sub>2</sub> se modificó mediante la formación de enlaces Ti O B. Las degradaciones fotocatalíticas de los compuestos disruptores endocrinos (2,4-diclorofenol (DCP), bisfenol-A (BPA)) y medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (ibuprofeno (IBU), flurbiprofeno (FLU)) se examinaron usando dopados crudos y boro	En las últimas décadas, en todo el mundo, se ha prestado atención. a la eliminación de compuestos disruptores endocrinos (EDC) y compuestos farmacéuticamente activos (PhAC) detectados en agua cuerpos y efluentes de aguas residuales. La aparición de EDC en el suministro de agua influye en la vida acuática y otras formas de vida. Los procesos de oxidación avanzada (AOP) han sido ampliamente empleados debido a su efectividad en las reacciones de degradación, especialmente para contaminantes peligrosos.	Los fotocatalizadores activados por luz visible TiO <sub>2</sub> dopados con B se sintetizaron por método solvotermal usando titanato de tetra-butilo y ácido bórico. La actividad fotocatalítica de los catalizadores TiO <sub>2</sub> dopados con B preparados se determinó por degradación de disruptores endocrinos, DCP, BPA y productos químicos farmacéuticamente activos, IBU y FLU bajo luz visible. La incorporación de boro mejoró la actividad fotocatalítica de TiO <sub>2</sub> bajo iluminación de luz visible principalmente que probablemente se deba a la disminución de la energía de la banda prohibida y al
39	Síntesis bioinspirada de nanocompuesto fotocatalítico Membranas basadas en la sinergia de Au-TiO <sub>2</sub> y polidopamina para la degradación de la tetraciclina bajo luz visible (Wang et al., 2017)	10.1021/acsami.7b0490	La tetraciclina, un antibiótico de amplio espectro altamente efectivo, es la parte indispensable para mantener la salud de los humanos y los animales, que pueden tratar una variedad de enfermedades, incluida la neumonía por micoplasma y el tifus epidémico.	Se preparó con éxito una membrana de nanocomposición fotocatalítica bioinspirada a través de una membrana de poli (fluoruro de vinilideno) revestida con polidopamina (pDA) (PVDF) como plataforma secundaria para la filtración al vacío de nanocompuestos Au-TiO <sub>2</sub> con actividad fotocatalítica mejorada.	En la actualidad, los investigadores han estudiado la tecnología de eliminación de la tetraciclina, tales como adsorción, degradación microbiana, electrólisis, oxidación fotocatalítica y separación de membranas. Entre ellos, la tecnología de oxidación fotocatalítica puede degradar eficientemente la materia orgánica debido a su fuerte capacidad oxidante y utilizar la energía solar, que se ha convertido en un punto de investigación en los últimos	Las membranas nanocompuestas mostraron buena estabilidad, rendimiento de regeneración y fácil reciclaje. El recubrimiento de pDA no solo sirvió como una interfaz de bioadhesión para mejorar la fuerza de unión entre el catalizador y el sustrato de membrana, sino que también actuó como un fotosensibilizador para ampliar el

40	<p>Hidróxido doble en capas de Ni-Ti @ Nitruro de carbono grafitico Nanosheet: un nuevo nanocompuesto con alta y ultrarrápida Rendimiento sonofotocatalítico para la degradación de antibióticos (Abazari et al., 2019)</p>	<p><a href="http://dx.doi.org/10.1021/acs.inorgchem.8b02575">http://dx.doi.org/10.1021/acs.inorgchem.8b02575</a></p>	<p>La contaminación de los recursos hídricos por antibióticos es un creciente preocupación ambiental. En este trabajo, nanocompuestos de g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> @ Ni – Ti hidróxidos dobles en capas (g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> @ Ni-Ti LDH NCs) con altas áreas de superficie fueron sintetizadas a través de un método hidrotermal optimizado, en presencia de NH<sub>4</sub>F.</p>	<p>Aplicación de diversas técnicas de caracterización. desentrañó que los nanocompuestos preparados están compuestos de nanopartículas porosas de Ni-Ti LDH y g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Además, estos NC se emplearon para la eliminación fotocatalítica y sonofotocatalítica de amoxicilina. (AMX), como antibiótico modelo, a partir de soluciones acuosas. Además, se realizó sonocatálisis.</p>	<p>En general, nuestros hallazgos pueden considerarse como un punto de partida para la síntesis de otros productos basados en g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> CN y aplicación de los nanocompuestos resultantes a la remediación ambiental.</p>	<p>Se descubrió que los NC g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> @ Ni – Ti LDH superan a sus componentes g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> y Ni-Ti LDH puros en la degradación fotocatalítica de AMX bajo irradiación de luz visible. Además, se determinó el siguiente orden para la eficiencia de los tres procesos adoptados: sonocatálisis &lt;fotocatálisis &lt;sonofotocatálisis. No se observaron pérdidas significativas en el sonofotocatalítico actividad de los nanocompuestos incluso después de cinco ejecuciones consecutivas.</p>
----	---	--	--	---	--	--

No.	Título	Revista	Año	Autores utilizados	Types.Repeat	pH	tipo de fotocatalizador	tiempo (minutos)	Nombre del contaminante	ciclo de vida del fotocatalizador (ciclos)	concentración del contaminante (mg/L)	concentración del fotocatalizador (mg/L)	% degradación
1	Filtro no tejido	Elsevier (Appl)	2015	(Colmenares et al., 2015)	1		Filtro no tejido de polipropileno		fenol				
2	Degradación	Elsevier (Environ)	2018	(E et al., 2018)	1	5	óxido mixto TiO <sub>2</sub> -V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	240	Diclofenaco	2	20	600	95
3	Mejora de la	Elsevier (Catal)	2019	(Li et al., 2019)	1	4	a coordinados con	120	tetraciclina		20	2000	94
4	Una estrategia	Elsevier (Appl)	2015	(Liang et al., 2015)	1	4	Pd@MIL-100(Fe)	120	Teofilina			100	95
4	Una estrategia	Elsevier (Appl)	2015	(Liang et al., 2015)	2	6	Au@MIL-100(Fe) a	120	Ibuprofeno			100	97
5	Adsorción y	Elsevier (Chem)	2018	(Lin et al., 2018)	1	7	nanocompuestos de	180	Ibuprofeno	16	5	10	27
6	Degradación	Elsevier (Environ)	2018	(Mugunthan et al., 2018)	1	5	TiO <sub>2</sub> -WO <sub>3</sub>	240	Diclofenaco		20	600	91
7	Degradación	Elsevier (Appl)	2018	(Yuan et al., 2018)	1		nanoestructuras de	300	fenol		50	3	87
8	Propiedades	Elsevier (Chem)	2015	Pourtaheri et al., 2015	1	5	NiO incorporado s	300	Cefixima		5	250	89
9	Nanohojas	Elsevier (Appl)	2017	Jiang et al., 2017	1		óxido de perovskit	90	Tetraciclina	4	35	40	81
10	Actividad fo	Elsevier (Appl)	2019	(Zhao et al., 2019)	1	4.75	Ag-CsPbBr <sub>3</sub> / CN	140	cefalosporina 7-ACA		10	100	92.79
11	Degradación	Elsevier (Appl)	2019	(Sun et al., 2019)	1	4	microesferas de he	60	Monoclorofenol		50	200	65
11	Degradación	Elsevier (Appl)	2019	(Sun et al., 2019)	2	4	microesferas de he	60	Monoclorofenol		20	200	90
12	Nanohojas	Elsevier (Appl)	2019	(Zhou et al., 2019)	1		Cu <sub>2</sub> -xS/g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> na	20	Levofloxacin	6	20	50	100
13	Compacto y	Elsevier (Appl)	2017	(Wang et al., 2017)	1		TiO <sub>2</sub> @ g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (TCN)		Tetraciclina		20	100	89
14	Caracteriza	Elsevier (Appl)	2015	(Ahern et al., 2015)	1	6.5	(oxihaluro de bism	30	niol (EE2) y estriol	8	10	500	92.5
15	Rendimient	Elsevier (Appl)	2019	(He et al., 2019)	1		Grafeno-TiO <sub>2</sub>	60	Fluoroquinolona				99.4
16	Degradación	Elsevier (Jou)	2017	(Abdel-Wahab et al.,	1		TiO <sub>2</sub> (P25)	90	Paracetamol		50	200	98.9
16	Degradación	Elsevier (Jou)	2017	(Abdel-Wahab et al.,	2		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	90	Paracetamol		50	200	52.5
17	Degradación	Nanomater	2019	(Smýkalová et al., 2019)	1	3	g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> y	360	Paracetamol			900	100
17	Degradación	Nanomater	2019	(Smýkalová et al., 2019)	2	3	yNanomateriales d	360	Ibuprofeno			900	100
17	Degradación	Nanomater	2019	(Smýkalová et al., 2019)	3	3	yNanomateriales d	360	Diclofenaco			900	73
18	Eliminación	Elsevier	2019	(Wang et al., 2019)	1	12	g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> / ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (heterouniones)		Tetraciclina	4		30	93.2
19	Aplicación	Springer Na	2019	(Kurwadkar et al., 2019)	1	6	carbón nanotubos(CNT)		metronidazol		600		95
20	Aplicación	MDPI	2019	(Hama Aziz et al., 2019)	1		El vidrio Pilkington Acti	90	ofenaco farmaceutico		50		
21	Mineralizac	springer	2019	(Azizi et al., 2019)	1	4.4	Ag @ g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	180	morfina	5	10	170	93.2
22	Rendimient	of Sol-Gel Sc	2019	(Singh et al., 2019)	1	2.5	Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> activados por	60	medicamento				90
22	Rendimient	of Sol-Gel Sc	2019	(Singh et al., 2019)	2	2.5	Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> activados por	60	medicamento				100
23	Fotocataliz	nanomater	2019	(Dasineh Khiavi et al., 2019)	1		Fotocatalizador de heterouni		azul de metileno				
24	Estado actu	Red alyc org	2019	(Montalván et al., 2019)	1		reactores fotocatalíticos de me		Ibuprofeno				
25	Descoloriza	Revista Cold	2018	(Tafurt-Garcia et al., 2018)	1	4	TiO <sub>2</sub> /UV	840	Negro Remazol B (NRB)			180	98.4
26	Uso del pro	Afinidad LX	2017	(Napoleão et al., 2017)	1	5	photo-Fenton	150	Paracetamol		1.57		100
26	Uso del pro	Afinidad LX	2017	(Napoleão et al., 2017)	2	7	photo-Fenton	150	Diclofenaco		4.04		100
26	Uso del pro	Afinidad LX	2017	(Napoleão et al., 2017)	3	8	photo-Fenton	150	ASA		0.65		71.90
26	Uso del pro	Afinidad LX	2017	(Napoleão et al., 2017)	4	9	photo-Fenton	150	Dipirona		3.92		97.60
27	Au nanopar	Elsevier	2018	(Tiwari et al., 2018)	1	6	Au nanopartículas	120	Tetraciclina		5	1000	70
28	estudio de s	Chemical Er	2016	(Zhang et al., 2016)	1		AgBr @ Ag @ TiO <sub>2</sub>	720	alcoholes bencílicos			50	
29	Nuevos foto	Elsevier	2018	(Banić et al., 2018)	1	2.8	Nuevos fotocataliz	120	tiaclorid		96	310	93.7
30	Novedoso c	Elsevier	2019	(Bilgin Simsek et al., 2019)	1	3	Novedoso carboca	180	Tetraciclina	4	10	10	80
31	Degradación	Elsevier	2019	(Selvakumar et al., 2019)	1		Gd <sub>2</sub> WO <sub>6</sub> cargado ZnO / compu		deciprofloxacina	6	13.2	250	97.9
31	Degradación	Elsevier	2019	(Selvakumar et al., 2019)	2		Gd <sub>2</sub> WO <sub>6</sub> cargado ZnO / compu		Bisfenol	6	13.2	250	98.3
32	Degradación	Elsevier (Cle	2019	(Kumar et al., 2019)	1	7	nuevo compuesto	240	cefexitina sódica	3	15	200	96
33	Eliminación	Process Safe	2019	(Finella et al., 2019)	1	6.2	nano-titania dopad	180	4-clorofenol	4	10	1000	99.20
33	Eliminación	Process Safe	2019	(Finella et al., 2019)	2	7	nano-titania dopad	180	4-clorofenol	4	40	1000	80
34	Degradación	Chemical Er	2019	(Zhong et al., 2019)	1		nanocapas BiOCl d	60	Levofloxacin	3	15	500	95
35	Catalizador	Elsevier (Appl)	2017	Bilgin Simsek, E. (2017)	1	6	TiO <sub>2</sub>	240	ibuprofeno (IBU)	4	20		89.1
35	Catalizador	Elsevier (Appl)	2017	Bilgin Simsek, E. (2017)	2	6.5	8B-TiO <sub>2</sub>	240	ibuprofeno (IBU)	4	20		96

35	Catalizador	Elsevier (Ap	2017	Bilgin Simsek, E. (2017)	3	6	TiO2	300	flurbiprofeno (FL	4	20		93
35	Catalizador	Elsevier (Ap	2017	Bilgin Simsek, E. (2017)	4	6.5	8B-TiO2	300	flurbiprofeno (FL	4	20		98
36	Síntesis bio	ACS Appl. M	2017	(Wang et al., 2017)	1		sinergia de Au-TiO2	120	Tetraciclina	5	10	15	92
37	Hidróxido d	Inorganic c	2019	(Abazari et al., 2019)	1		Hidróxido doble e	75	Amoxicilina		1000		99.5
38	Degradació	Applied Cat	2017	(Muñoz-Batista et al., 2017)	1		fotocatalizadores d	300	2-propanol		600	40	90
39	Eliminación	Elsevier (Ch	2019	(Wang et al., 2019)	1		fotocatálisis de esquemas por		Tetraciclina	4		30	93.2
40	Mecanismo	Elsevier (Ch	2019	(Yin et al., 2019)	1	5	catalizadores de Pd	240	bezafibrato	5	100	200	79.39