



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Nanomateriales Basados en Grafeno como Método de Eliminación
de Contaminantes Farmacéuticos Emergentes del Agua: Revisión
Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Huaricallo Quispe, Moises (ORCID: 0000 0001 9711 0924)
Ramos Chuquimamani, Ruben (ORCID: 0000 0002 6608 9840)

ASESOR:

Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo (ORCID: 0000 0001 6017 1192)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ
2022

DEDICATORIA

A nuestro divino creador Dios, porque sin el de nuestro lado no habiéramos llegado hasta este momento.

A nuestras familias por el amor profundo y el apoyo constante que nos brindan, porque merecen los mejor de nosotros.

AGRADECIMIENTOS

A la universidad cesar vallejo por habernos dado la oportunidad para hacer posible nuestros sueños.

Nuestro agradecimiento muy especial al Mg. Carlos Alfredo Ugarte alvan. Guía profesional en el proceso de titulación, quien con su apoyo permanente y estímulo constante en la búsqueda del conocimiento y la información relevante ha hecho posible la culminación de la presente tesis de investigación.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
INDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGIA.....	16
3.1 Tipo y diseño de investigación	16
3.2. Categoría, Subcategoría y matriz de categorización apriorística	16
3.3 Escenario de estudio	18
3.4 Participantes	18
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.6 Procedimientos	18
3.7 Rigor científico	20
3.8 Método de análisis de información.....	20
3.9 Aspectos éticos.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
V. CONCLUSIONES	32
VI. RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS.....	34
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Matriz de categorización apriorística</i> _____	17
<i>Tabla 2. Capacidad de remoción de los nanomateriales</i> _____	22
<i>Tabla 3. Mecanismos de acción de los nanomateriales</i> _____	27
<i>Tabla 4. Tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales basados en grafeno</i> _____	30

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Principales consecuencias y efectos adversos de los CE de gran preocupación para la salud humana y el medio ambiente</i> -----	6
<i>Figura 2. Las estructuras químicas de los TCA</i> -----	7
<i>Figura 3. El grafeno como material de construcción 2D para materiales de carbono de todas las demás dimensionalidades</i> -----	9
<i>Figura 4. Funcionalización del grafeno. (a) Grafeno; (b), (c) y (d) son GO, RGO y gel de grafeno; (e) y (f) son materiales de grafeno modificados con pequeñas moléculas orgánicas y polímeros; (g), (h) e (i) son materiales de grafeno funcionalizados con nanopartículas</i> -----	10

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1. Categorías generales de CE</i> _____	5
<i>Gráfico 2. Procedimiento de Selección de Investigaciones</i> _____	19
<i>Gráfico 3. Mecanismo de adsorción de los nanomateriales basados en grafeno</i> __	28

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CEC	: contaminantes de preocupación emergente
PCP	: Productos de cuidado personal
ECD	: Compuestos disruptores endocrinos
CE	: Contaminantes emergente
PPCP	: Productos farmacéuticos y de cuidado personal
NP	: Nonilfenol
BPA	: Bisfenol-A
DW	: Agua potable
OMS	: Organización Mundial de la Salud
LC-MS-MS	: Cromatografía líquida-espectrometría de masas en tándem
SMT	: Sulfametazina
TC	: Tetraciclina
CIP	: Ciprofloxacina
DXC	: Doxiciclina
CTC	: Clortetraciclina
OTC	: Oxitetraciclina
GO	: Grafeno
AC	: Carbón activado
CNT	: Nanotubos de carbono

RESUMEN

El presente estudio tuvo como finalidad determinar la importancia de la aplicación de nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua, para lo cual se realizó la búsqueda y selección de 36 artículos científicos, teniendo como base metodológica a un tipo de investigación aplicada de diseño narrativo; donde se puede resumir los siguientes resultados obtenidos.

La capacidad de remoción de los Nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de CEC del agua dependen de las diferentes estructuras y grupos químicos del grafeno prístino, como el GO y el rGO; donde se pudo comprobar que la mayor capacidad de remoción se presente con la membrana GO; siendo este GO /AC el cual es a base de carbón activado, GO/ puro, GO/CNT a con nanotubos de carbono, donde entre esta clasificación el GO/AC es el que presenta una capacidad de adsorción de 449,0 mg g⁻¹, debido a las fuertes interacciones de GO/AC a través de las interacciones de enlace p-p, el enlace de hidrógeno, la interacción electrostática y las fuerzas de Van der Waals. El mecanismo de adsorción de los nanomateriales es la interacción π - π siendo, la interacción electrostática y la interacción de enlace hidrógeno. Por último, se tiene que los tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales son la fotocatalisis, como el método más usado, debido a que, este enfoque se considera una forma muy eficaz de degradar los contaminantes evitando la contaminación secundaria; pero también se encuentran el tipo fenton y la ozonificación.

Palabras clave: Grafeno, nanomateriales, método, eliminación, contaminantes farmacéuticos emergentes, agua, fotocatalisis

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the importance of the application of graphene-based nanomaterials as a method of removing emerging pharmaceutical contaminants from water, for which the search and selection of 36 scientific articles was carried out, having as a methodological basis a type of applied research of narrative design; where the following results obtained can be summarized.

The removal capacity of nanomaterials based on graphene as a method of removing CEC from water depends on the different structures and chemical groups of pristine graphene, such as GO and rGO; where it was found that the highest removal capacity is present with the GO membrane; being this GO/AC which is based on activated carbon, GO/pure, GO/CNT a with carbon nanotubes, where among this classification the GO/AC is the one that presents an adsorption capacity of 449.0 mg g⁻¹, due to the strong interactions of GO/AC through p-p bond interactions, hydrogen bond, electrostatic interaction and Van der Waals forces. The adsorption mechanism of nanomaterials is the π - π being, electrostatic interaction and hydrogen bonding interaction. Finally, the types of systems that are applied with nanomaterials are photocatalysis, as the most used method, because this approach is considered a very effective way to degrade pollutants avoiding secondary contamination; but there are also the fenton type and ozonation.

Key words: Graphene, Based, Nanomaterials, Method, Removal, Emerging Pharmaceutical Contaminants, Water, photocatalysis

I. INTRODUCCIÓN

La seguridad del agua sigue siendo una preocupación importante a medida que la demanda mundial de alimentos, energía y agua sigue aumentando y los vínculos (o nexos) entre los tres componentes se vuelven cada vez más complejos (Cai Ximing et al., 2018, p.1).

Además, en los lugares áridos este problema se viene intensificando desde las últimas décadas y está previsto que continuará en aumento por la interdependencia del crecimiento de la población, la escasez de alimentos, la escasez de agua y la falta de recursos energéticos (El Ramady H. et al., 2017, p.2). Esto afecta significativamente el desarrollo sostenible según lo conceptualizan los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por las Naciones Unidas (UEN Tinn Shuan et al., 2018, p.2).

Así mismo, la creciente expansión de la urbanización se viene observando como un fenómeno común en la mayor parte del mundo, siendo este un problema que agrava la creciente escasez de fuentes de agua seguras y fiables (Goonetilleke Ashantha et al., 2017, p.3). La escasez de agua y el agotamiento de las aguas subterráneas son problemas graves en muchas naciones (Lazaridou D. et al., 2019, p.2).

Estos problemas de agua a menudo se consideran locales y se gestionan de esa forma. Sin embargo, muchos problemas de escasez de agua afectan a las naciones porque comparten fuentes de agua transfronterizas (De matos Paulo R. et al., 2020, p.4).

La escasez constante de agua se está convirtiendo en una característica común en muchas partes del mundo; por tal motivo es importante reconocer la reutilización de las aguas pluviales como un recurso clave para asegurar un suministro de agua adecuado en el futuro basado en el concepto de "agua apta para su propósito" (Figuroa Anjuli J. y Smilovic M., 2021, p.81). Pero la extracción insostenible de los recursos hídricos superficiales y subterráneos y la disminución de la calidad del agua resultante del aumento del nivel de vida de la población en las zonas urbanas

han limitado la disponibilidad de los recursos hídricos (Patunru Arianto A., 2016, p.3).

Los contaminantes orgánicos, emergentes y los productos farmacéuticos son los que tienen mayor presencia en las aguas residuales (Peng Ying et al., 2018, p.1).

La presencia de contaminantes emergentes, en particular antibióticos, en las muestras de agua ha generado preocupaciones relacionadas con la resistencia a los antibióticos y, por lo tanto, eliminarlos de los ambientes acuosos se ha convertido en una importante tarea científica pendiente, particularmente los antibióticos porque tienen estructuras químicas resistentes a los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales (Bai Xuelian et al., 2018, p.2).

Todo ello ha llevado a un aumento en la búsqueda de procesos de tratamiento de aguas residuales alternativos/no convencionales o procesos terciarios adicionales que puedan eliminar los antibióticos de los efluentes de las aguas residuales tratadas (Rahman Muhammad M. y Hagare D., 2016, p.4). Ante ello, el grafeno ha atraído enorme atención e intereses de investigación en el estudio de la eliminación de antibióticos de entornos acuosos; ya que se encuentra dentro de los avances tecnológicos con una lista infinita de aplicaciones (Zhao Hong et al., 2017, p.2).

Ante lo expuesto, se planteó para el presente estudio el siguiente problema general: ¿Cuál es la importancia de la aplicación de nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua?, y como problemas específicos se elaboró:

PE1: ¿Cuál es la capacidad de remoción de los Nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua?

PE2: ¿Cuál es el mecanismo de adsorción de los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua?

PE3: ¿Cuáles son los tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua?

Así mismo, se elaboraron 3 objetivos específicos para este estudio, siendo detallado en primer lugar el objetivo general:

Determinar la importancia de la aplicación de nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua; y los objetivos específicos son:

OE1: Analizar la capacidad de remoción de los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua

OE2: Describir el mecanismo de adsorción de los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua

OE3: Clasificar los tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua

Esta investigación se justifica teóricamente, debido a que se estudiará conocimientos ya establecidos, acerca de las nanopartículas basadas en grafeno, buscando solucionar el problema de los contaminantes farmacéuticos emergentes del agua, teniendo como fin servir de base para futuros estudios investigadores, con un estudio actualizada a profundidad con la presentación de artículos a nivel mundial.

II. MARCO TEÓRICO

La escasez de agua en los entornos áridos ha aumentado en la última década y se prevé que este aumento continúe debido a los efectos combinados de los cambios climáticos y a una mayor demanda mundial de energía, alimentos y agua para apoyar el crecimiento de la población humana en las zonas urbanas (Bandala E. y Berli M., 2018, p.2).

La extracción insostenible de los recursos hídricos superficiales y subterráneos y la disminución de la calidad del agua resultante del aumento del nivel de vida de la población en las zonas urbanas han limitado la disponibilidad de los recursos hídricos (Goonetilleke Ashantha et al., 2017, p.1). En estas circunstancias, el uso de agua reciclada y/o regenerada ayuda significativamente a minimizar el uso de agua dulce (Villaseñor Basulto D. et al., 2018, p.1).

El agua reciclada brinda una oportunidad viable para complementar los suministros de agua y aliviar las cargas ambientales, pero la baja calidad del agua producto del aumento de la población limita la disponibilidad de este recurso (Gomes Ines et al., 2018, p.2).

Sin embargo, los contaminantes orgánicos indeseables -como los contaminantes de preocupación emergente (CEC), los antibióticos y los productos farmacéuticos (compuestos orgánicos traza) están presentes en los efluentes de aguas residuales, incluso después del tratamiento, lo que limita su potencial reutilización (Blunt Susanna M. et al., 2018, p.2). Los antibióticos como contaminantes farmacéuticos emergentes no solo han amenazado gravemente la vida humana y la seguridad de la salud animal, sino que también han causado contaminación ambiental (Dey Saptarshi et al., 2019, p.2).

Se detectaron contaminantes de preocupación emergente y una gran cantidad de antibióticos en aproximadamente el 80% de 139 muestras de arroyos en todo Estados Unidos, agua potable en Alemania y aguas subterráneas en Italia (Bai Xuelian et al., 2018, p.3). En los efluentes de aguas residuales tratadas de forma convencional se suele encontrar una gran variedad de contaminantes de interés emergente (CEC) porque los procesos de tratamiento convencionales (físicos y/o

biológicos) no son capaces de eliminar mucho de estos contaminantes CEC (Rodríguez Narvaez O. et al., 2020, p.1).

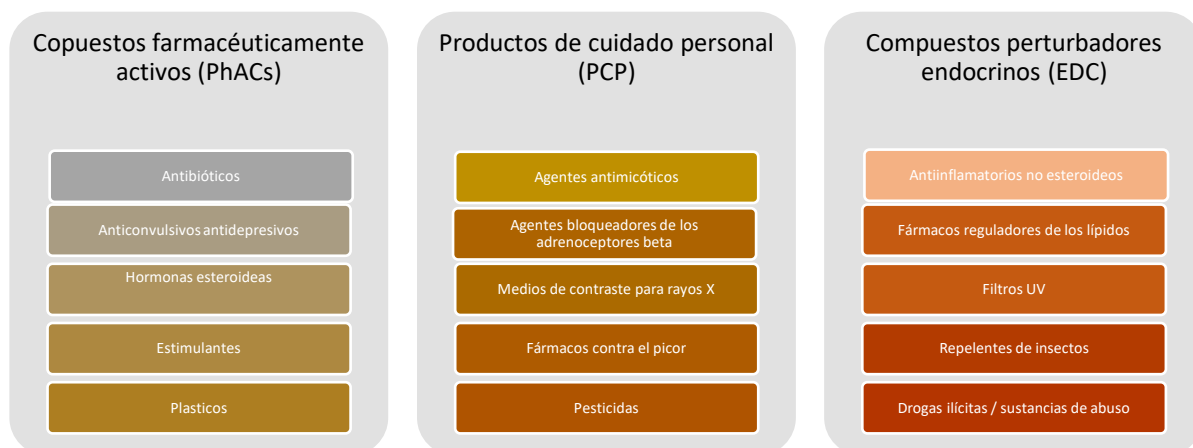
Además, la legislación local y federal no exige que las plantas de tratamiento de aguas residuales eliminen las CEC de las aguas residuales, por lo que las CEC suelen ser liberadas en las corrientes naturales junto con los efluentes tratados (Bai X y Acharya K, 2017, p.1).

Los contaminantes emergentes son productos químicos sintéticos o naturales o cualquier microorganismo que no se monitorea comúnmente en el medio ambiente, pero que tienen el potencial de ingresar al medio ambiente y causar efectos adversos conocidos o sospechados para la salud humana y / o ecológica (Fijalkowski K., 2019, p.456). Estas sustancias suelen estar presentes en bajas concentraciones (entre ngL1 y mgL1) (Archer et al., 2017).

En general, estas relaciones pueden dividirse en tres categorías principales (Singh Gurudatta et al., 2021, p.2). Compuestos farmacéuticamente activos (PhACs), 2) Productos de cuidado personal (PCP), 3) Compuestos disruptores endocrinos (ECD)

Pero, cabe señalar que se trata de categorías generales de CE, así mismo, los conocimientos sobre la presencia en el medio ambiente y el destino de muchas clases de CE se muestran en el gráfico 1.

Gráfico N°1. Categorías generales de CE

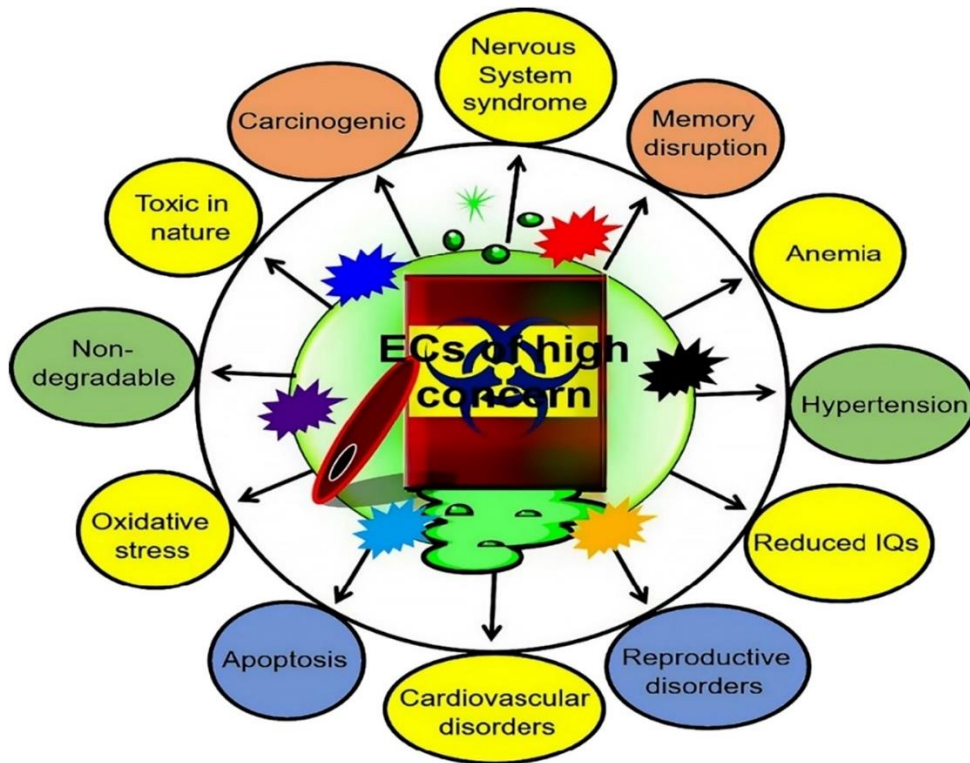


Fuente: Modificado de Tran Ngoc et al., (2018)

De acuerdo al gráfico 1, se muestra la clasificación más amplia de los CE basada en 4 criterios: Alto consumo en todo el mundo, Alta frecuencia de detección en aguas residuales y lodos de depuradora, Riesgos potenciales para los ecosistemas y la salud humana, Disponibilidad de datos analíticos.

De la amplia gama de CE o microcontaminantes se han asociado para ejercer consecuencias adversas conocidas o sospechadas sobre la salud humana y el medio ambiente (Bloem E. et al., 2017, p.2). Los organismos inferiores no objetivo están expuestos a través del agua afectada, las emisiones atmosféricas, las precipitaciones, los sedimentos, entre otras rutas. Como se muestra en la figura 1.

Figura N°1. Principales consecuencias y efectos adversos de los CE de gran preocupación para la salud humana y el medio ambiente



Fuente: Rodriguez Narvaez O. et al., (2017)

Es así que, los compuestos farmacéuticos, que se fabrican especialmente para producir una respuesta biológica en un organismo objetivo, también pueden producir la misma respuesta en entidades no objetivo después de una exposición

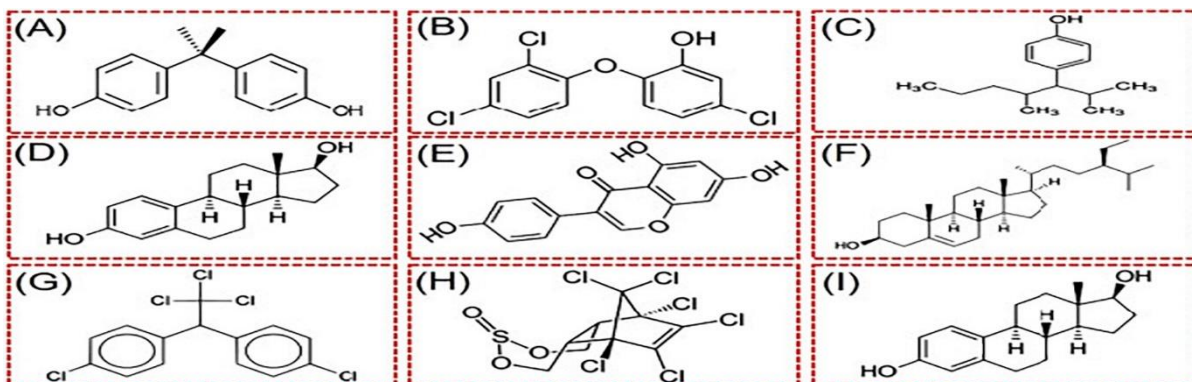
crónica incluso a concentraciones traza de estos compuestos (Wilkinson John L. et al., 2016, p.2).

Se ha informado alteración / disfunción biológica (como alteración endocrina, del desarrollo y epigenética) en organismos inferiores expuestos a niveles traza de productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP) y otras CE (Gogoi Anindita et al., 2018, p.6). Tal interrupción / disfunción puede no estar presente exclusivamente como respuesta tóxica tradicional (p. Ej., cáncer o muerte), pero pueden alterar sólo levemente los procesos biológicos naturales como resultado de la exposición a una sustancia química exógena (por ejemplo, un aumento de la frecuencia cardíaca o un tamaño alterado de las almohadillas de grasa dorsales en los peces) (Cai Zhengqing et al., 2018, p.3).

Así mismo, el epigenoma y el sistema endocrino parecen ser relativamente sensibles a muchas PPCP / CE, particularmente durante el desarrollo temprano (Selkala Tuula et al., 2018, p.2). De manera similar, se ha reconocido que algunos alteradores endocrinos (DE) interfieren en la función endocrina del cuerpo y, por lo tanto, provocan efectos adversos reproductivos, neurológicos, del desarrollo e inmunológicos, efectos en humanos y vida silvestre (Nie Jianxin et al., 2020, p.4).

Se encuentran ampliamente diseminados en el medio ambiente, pero se encuentran principalmente en los efluentes de aguas residuales. Entre la amplia variedad de DE se encuentran; el nonilfenol (NP) y el bisfenol-A (BPA) son los compuestos más investigados (Bilal M. et al., 2018, p.7). (Ver figura 2).

Figura N°2. Las estructuras químicas de los TCA



Fuente: Bilal Muhammad et al., (2018)

De acuerdo con la figura 2, (A) de bisfenol-A, (B) triclosan, (C) nonilfenol, (D) 17 β -estradiol, (E) genisteína, (F) β -sitosterol, (G) diclorodifeniltricloroetano (DDT), (H) endosulfán y (I) estradiol (E2).

En este escenario, su detección en toda la biosfera se ha convertido en una preocupación ambiental suprema, y es de gran importancia aumentar la eficacia de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales para superar la contaminación ambiental (Yan Shuwen et al., 2017, p .4).

Curiosamente, la detección y monitoreo mundial de CE en aguas superficiales, aguas residuales, aguas subterráneas y agua potable (DW) también recibió la consideración significativa de la Organización Mundial de la Salud (OMS), publicaron un informe exclusivo que documenta la presencia de productos farmacéuticos en las aguas subterráneas y agua potable y los peligros potenciales asociados para la salud humana y el ecosistema (Aus Der Beek Tim et al., 2016, p.2).

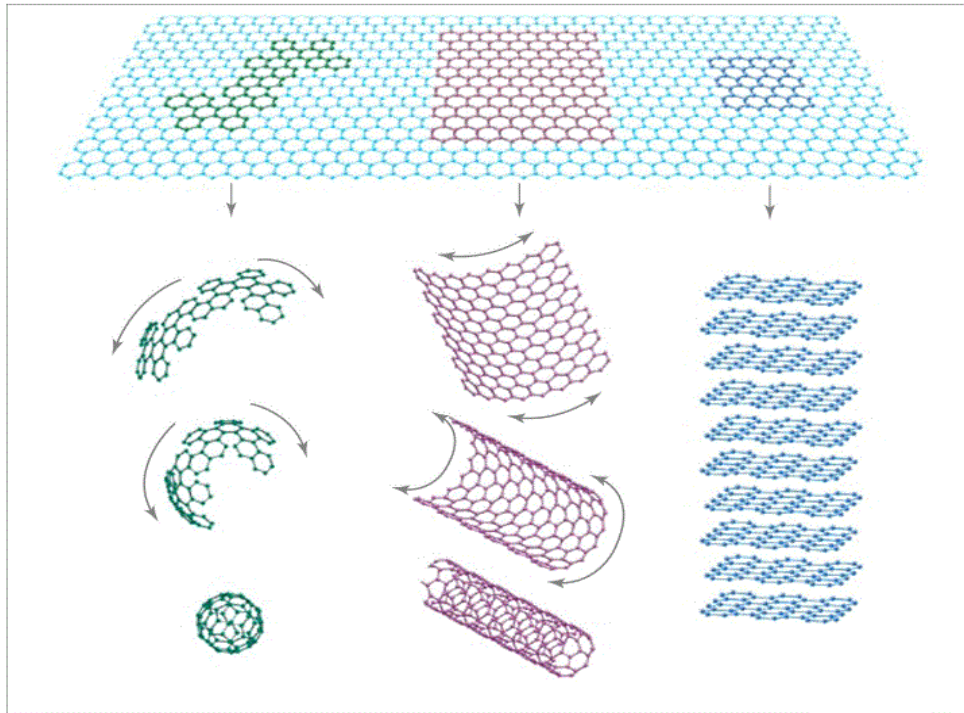
Por otro lado, a lo largo del período, las tecnologías relacionadas con el tratamiento de agua no convencional han mejorado debido al desarrollo de nuevas técnicas (Zeng Zhi W. et al., 2018, p.2). Las principales tecnologías de tratamiento se clasifican como tratamiento biológico, prácticas de cambio de fase y tecnologías avanzadas de oxidación (Valitalo Pia et al., 2017, p.1).

Con el fin de eliminar estos contaminantes, la adsorción y la fotocatalisis han atraído una gran atención debido a su gran potencial en la eliminación de antibióticos de soluciones acuosas (Li D. y Shi W., 2016, p.2). Ante ello, el grafeno, como un nanomaterial bidimensional novedoso, posee una estructura y propiedades fisicoquímicas únicas, que pueden usarse para adsorber y fotodegradar antibióticos de manera eficiente (Li Mei fang et al., 2019, p.1).

Desde su inesperado descubrimiento en 2004, el grafeno ha sido impulsado a la vanguardia del de los avances tecnológicos con una lista casi infinita de aplicaciones, por ejemplo, la futura electrónica, el almacenamiento de energía o hidrógeno y la biodetección, gracias a sus propiedades electrónicas, ópticas, térmicas y mecánicas únicas (Shao Binbin et al., 2018, p.4).

El grafeno obtiene sus propiedades de su estructura química, que comprende una monocapa plana de átomos de carbono empaquetados en una red de panal 2D Q5 en forma de panal de abejas; este entramado es un bloque de construcción básico para todos los demás materiales gráfiticos. (Ver figura 3).

Figura N°3. El grafeno como material de construcción 2D para materiales de carbono de todas las demás dimensionalidades



Fuente: Zhao Hong et al., (2017)

Esta versatilidad, combinada con la flexibilidad electrónica, una gran superficie, una alta resistencia mecánica, alta movilidad intrínseca y una conductividad térmica sin parangón, han hecho que el grafeno y los materiales basados en el grafeno sean atractivos como herramientas tecnológicas (Anirudhan T. et al., 2017, p.3)

El método de adsorción tiene las ventajas de un fácil funcionamiento bajo costo, alta eficiencia, fuerte reproducibilidad y disponibilidad de diferentes adsorbentes (Yu Fei et al., 2016, p.1).

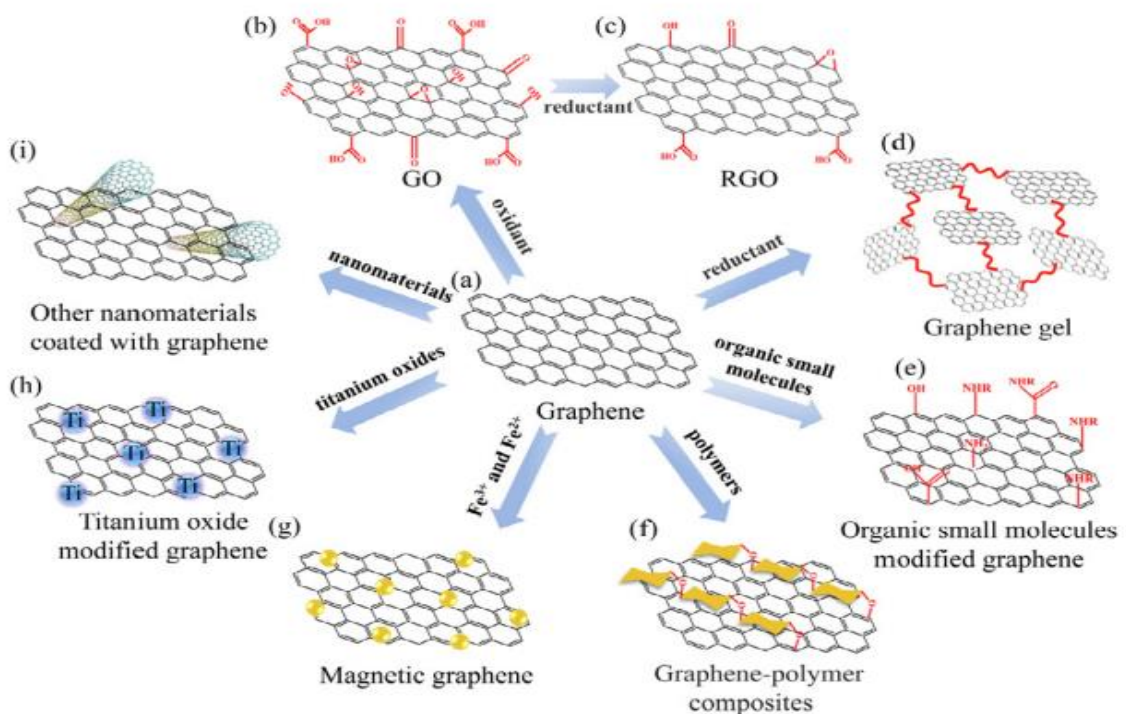
Se considera que el grafeno tiene un gran potencial para adsorber compuestos orgánicos aromáticos mediante el acoplamiento de electrones p-p o las interacciones de Van der Waals (Zhuang et al., 2015c). Donde, los compuestos

antibióticos incluyen principalmente aminoglucósidos, b-lactámicos, glicopéptidos, macrólidos, quinolonas, sulfonamidas y CTs (Li y Shi, 2016).

La mayoría de ellos abarcan componentes cíclicos, representados por anillos de benceno, hexahidropirimidinas, unidades de piperazina, así como quinolonas sulfonamidas y grupos de morfolina (Manzetti y Ghisi, 2014). Estas estructuras de antibióticos sugieren que el grafeno podría ser ideal adsorbente para la eliminación de antibióticos mediante la interacción p-p. Sin embargo, el grafeno es fácil de aglomerar en una solución acuosa, y sufre de capacidad de adsorción, separación y reciclado de la solución madre y reciclabilidad de la solución madre tras la adsorción.

Además, el grafeno tiene propiedades como funcionalización como se muestra en la figura 4.

Figura N°4. Funcionalización del grafeno. (a) Grafeno; (b), (c) y (d) son GO, RGO y gel de grafeno; (e) y (f) son materiales de grafeno modificados con pequeñas moléculas orgánicas y polímeros; (g), (h) e (i) son materiales de grafeno funcionalizados con nanopartículas



Fuente: Bai Lizhen et al., (2016)

Como se muestra en la figura 4 Desde el punto de vista de la estructura, el grafeno es una hoja bidimensional (2D) compuesta por una monocapa de átomos de carbono hibridados sp² y posee una gran superficie específica (2630 m²/g)

Así mismo, el estudio del mecanismo de adsorción de antibióticos es necesario para explicar los cambios que se producen en la superficie del grafeno/GBNPs, lo que ayuda a la optimización de estos sorbentes para obtener una mejor capacidad de adsorción (Zhang Yan et al., 2017, p.3).

El mecanismo de adsorción está estrechamente relacionado con propiedades superficiales del grafeno/GBNPs, especialmente con el área superficial y la estructura de los poros (Tran Mai L. et al., 2018, p.2). Además, los grupos funcionales de la superficie y las propiedades de los antibióticos también pueden afectar al mecanismo de adsorción (Ma Jie et al., 2016, p.5).

Por otro lado, se detallan los diversos estudios a continuación:

Peng Bingquan et al., (2016), en este estudio se han observado estudios experimentales sobre la adsorción de 7 antibióticos en concentración ambiental de soluciones acuosas por materiales a base de carbono. Donde, tres tipos de materiales de carbono han mostrado una adsorción muy rápida a los antibióticos mediante la detección de cromatografía líquida-espectrometría de masas en tándem (LC-MS-MS) y la mayor eficiencia de eliminación de antibióticos podría alcanzar el 100% dentro del rango del límite de detección. Sorprendentemente la tasa de adsorción del grafeno con una pequeña área de superficie específica fue más fuerte que la de otros dos biocarbón y la tasa de adsorción de los dos biocarbón que tienen una superficie específica aproximada y un grado de carbonización diferente fue significativamente diferente.

Zhuang S. et al., (2018), En este estudio, se caracterizó y aplicó el grafeno para la eliminación de sulfametazina (SMT) de una solución acuosa. El efecto del tiempo de contacto (0-1440 min), la concentración inicial (2-100 mg L⁻¹) y la temperatura (298-318 K), así como el pH (2-9) y la fuerza iónica (0-0,2 M NaNO₃), han sido examinados. La capacidad máxima de adsorción se calculó en 104,9 mg g⁻¹

utilizando el modelo de Langmuir. El proceso de adsorción endotérmica ($\Delta H = 10.940 \text{ kJ mol}^{-1}$) dependía del pH y la temperatura, y los datos de adsorción encajaban bien con los modelos isotérmicos y cinéticos de pseudo segundo orden de Langmuir. Concluyendo que, la fuerza iónica (0,01 a 0,2 M de NaNO_3) no tuvo una influencia obvia en la adsorción de SMT por el grafeno. En última instancia, el grafeno demostró ser un adsorbente eficaz para la eliminación de antibióticos de sulfonamida de soluciones acuosas.

Ma Jie et al., (2017), en su investigación, los absorbentes de grafeno activado con alta área de superficie específica (SSA) se prepararon mediante un método fácil de activar con KOH y se aplicaron en antibióticos absorbentes, como la tetraciclina (TC). Después de la activación, se introdujeron muchos microporos en las láminas de óxido de grafeno, lo que dio lugar a un mayor SSA y muchos nuevos grupos funcionales que contienen oxígeno, lo que dio al grafeno activado por KOH una excelente capacidad de adsorción (aprox. $532,59 \text{ mg g}^{-1}$) de TC. Donde, los resultados revelaron que, en comparación con el pH y la fuerza iónica, la relación sólido-líquido y los iones coexistentes (Cu^{2+} , CrO_4^{2-}) tenían una influencia más significativa sobre el rendimiento de la adsorción. Concluyendo que, los hallazgos proporcionan una guía para la aplicación de grafeno activado por KOH como un adsorbente alternativo prometedor para la eliminación de antibióticos de soluciones acuosas.

Rostamian R. y Behnejad H., (2018), en su artículo, se evaluó el comportamiento de adsorción de tetraciclina (TCN), doxiciclina (DCN) como los antibióticos más comunes en veterinaria y ciprofloxacina (CPN) sobre nanoláminas de óxido de grafeno (GOS) en solución acuosa. Se estudiaron los cuatro factores que influyen en la adsorción de antibióticos (concentración inicial, pH, temperatura y tiempo de contacto). Dpnde, los resultados mostraron que el pH inicial ~ 6 a 7 y el tiempo de contacto $\sim 100 - 200$ min son óptimos para cada fármaco. La capacidad de adsorción de la monocapa se redujo con el aumento de temperatura de 25°C a 45°C . Concluyendo que, el estudio mostró que GOS se puede eliminar de manera más eficiente de la solución de agua.

Sun Kaixuan et al., (2018), estudió los efectos del óxido de grafeno (GO) sobre el cotransporte de las dos fluoroquinolonas (FQ) típicas: levofloxacin (LEV) y ciprofloxacina (CIP) en medios de arena de cuarzo saturados e insaturados. Donde, las isotermas de adsorción mostraron que GO tenía capacidades de adsorción mucho mayores a LEV y CIP que la arena con la mayor capacidad de adsorción de Langmuir de 409 mg g^{-1} (CIP-GO); mientras que la afinidad de sorción de los dos FQ en los dos adsorbentes podría seguir el orden de CIP-arena > LEV-arena > LEV-GO > CIP-GO; además, en condiciones insaturadas, la humedad mostró poco efecto sobre el transporte de CIP unido a GO; sin embargo, la movilidad de LEV unido a GO se redujo con la disminución del contenido de humedad, lo que sugiere el transporte de LEV adsorbido desde GO a la interfaz aire-agua. Concluyendo que, la sorción de GO redujo la capacidad antibacteriana de las dos FQ, pero aún fueron efectivas para inhibir *E. coli* crecimiento.

Yadav Sarita et al., (2018), en este estudio, el grafeno funcionalizado con oxígeno, a saber, óxido de grafeno (GO), se sintetizó mediante el método modificado de Hummer y Offeman y se utilizó como absorbente potencial eficaz para la eliminación de fluoroquinolonas (FQ), es decir, ciprofloxacina (CIP), norfloxacina (NOR). y ofloxacina (OFL), de solución acuosa. Donde, se encontró que el pH de la solución de antibiótico es más crucial que los otros parámetros experimentales, como la concentración inicial de antibiótico, el tiempo de contacto y la dosis de adsorbente, y tiene un impacto significativo en la adsorción de FQ a través del adsorbente de GO y la máxima eliminación de FQ se observó a pH 7 para CIP y NOR, mientras que la adsorción fue máxima a pH 4 para OFL. Los datos experimentales se ajustan mejor al modelo de pseudo-segundo orden en comparación con el modelo de adsorción cinética de pseudo-primer orden. Concluyendo que, el mejor ajuste de los datos experimentales de equilibrio a la isoterma de Langmuir en comparación con los modelos de isoterma de Freundlich estableció que FQ se adsorbe sobre el GO de manera monocapa.

Dong Shuman et al., (2016), evaluó en su trabajo, sistemáticamente el potencial de usar óxido de grafeno (GO) directamente como medio filtrante para la eliminación de levofloxacin (LEV), un contaminante emergente, y plomo (Pb), un metal pesado, de una solución acuosa. Donde, se realizaron experimentos por lotes y en

lecho fijo para determinar los comportamientos de sorción de LEV y Pb en el GO. En el sistema por lotes, GO mostró una fuerte absorción de los dos contaminantes con capacidades máximas de adsorción de Langmuir de 256,6 y 227,2 mg g⁻¹, respectivamente; además, la eliminación de LEV y Pb por GO en columnas de lecho fijo fue alta en todas las condiciones probadas en sistemas de solución simple y mixta. La eficiencia de eliminación de los dos contaminantes en las columnas de arena GO aumentó con el contenido de GO, pero disminuyó con el flujo de inyección. Concluyendo que, los resultados de este trabajo demostraron que GO es un nanoadsorbente prometedor que se puede utilizar como medio filtrante de alta eficiencia en el tratamiento del agua para eliminar elementos metálicos peligrosos y contaminantes emergentes.

Liu Fei fei et al., (2016), examinó la adsorción de dos SA seleccionados (sulfapiridina y sulfatiazol) por dos óxidos de grafeno reducidos (rGO1 y rGO2) como afectados por el pH y la materia orgánica disuelta (DOM). Donde, la adsorción de SA por rGO fue altamente dependiente del pH, y la afinidad de adsorción de diferentes especies de SA siguió el orden de SA⁰ > SA⁺ > SA⁻. La contribución de SA⁰ a la adsorción total fue mayor que la fracción de su especie, lo que implica la importancia de la especie neutra para la adsorción, además, las isothermas de adsorción de SA a tres pH seleccionados estaban en el orden de pH 5,0 > pH 1,0 > pH 11,0, que estaba de acuerdo con la variación del análisis de distribución de energía del sitio. Concluyendo con estos resultados deberían ser importantes para evaluar el destino y el transporte del grafeno y los antibióticos en el medio ambiente.

Miao Jiahe et al., (2019), tuvo como objetivo explorar el mecanismo de adsorción de los TC en MGO, también se investigaron las influencias de diferentes factores ambientales, como el pH y la temperatura de la solución, sobre el rendimiento de adsorción de MGO. Dando como resultado que, el modelo cinético de pseudo-segundo orden y el modelo de isoterma de Freundlich proporcionaron la mejor correlación para los datos del experimento, lo que indica que el control de la adsorción se realizó principalmente por medios físicos y químicos; donde los parámetros termodinámicos mostraron que la adsorción siguió un proceso espontáneo y endotérmico. Concluyendo que MGO tiene un mejor desempeño en la absorción de clortetraciclina (CTC) en condiciones alcalinas, mientras que mostró

la mejor absorción de clorhidrato de tetraciclina (TC) y oxitetraciclina (OTC) a pH 3.3.

Yu Baowei et al., (2017), en su estudio se preparó una esponja magnética de óxido de grafeno (MGOS) liofilizando la dispersión de nanopartículas de Fe_3O_4 y óxido de grafeno (GO) para la adsorción de tetraciclina. Donde, se adhirieron nanopartículas de Fe_3O_4 en láminas GO, lo que permite la propiedad magnética de MGOS y la capacidad de adsorción de MGOS para tetraciclina fue de 473 mg / g, mostrando un aumento del 50% en comparación con GO. La adsorción fue moderadamente rápida y podría describirse mediante un modelo de pseudo-segundo orden. Concluyendo que, el pH tuvo una influencia leve sobre la adsorción, mientras que la fuerza iónica casi no tuvo impacto y se discute la implicación de las aplicaciones de MGOS en la remediación de antibióticos.

III. METODOLOGIA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación presenta un enfoque cualitativo, según Hernández, Fernández y Baptista (2014) se plantea este enfoque en un trabajo de investigación cuando lo que se quiere obtener es la forma en la que los individuos o participantes han experimentado ciertos fenómenos a investigar, a través de sus pensamientos y emociones que el investigador tendrá que plasmar en el trabajo (p. 358).

El tipo de investigación es aplicada, este se caracteriza por hacer uso de conocimientos ya adquiridos hasta ese momento para el desarrollo o solución de la problemática a estudiar. Murillo (2008) también la llama “investigación práctica o empírica” en este tipo de investigación a la vez que se adquieren nuevos conocimientos a través de los ya obtenidos después de revisar y profundizar el fenómeno a investigar con una metodología. Con este tipo de investigación el diseño usado en el presente informe es un diseño narrativo, ya que a través de los estudios obtenidos y extraídos de diferentes fuentes se harán uso en el presente informe para el desarrollo del fenómeno o la problemática a estudiar.

3.2. Categoría, Subcategoría y matriz de categorización apriorística

Para el presente estudio las categorías y sub categorías fueron planteadas de acuerdo a los problemas y objetivos específicos; ver la siguiente tabla N°1.

Tabla N°1. Matriz de categorización apriorística

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍAS	SUB CATEGORÍAS	CRITERIO 1	CRITERIO 2
¿Cuáles es la capacidad de remoción de los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos?	Clasificar la capacidad de remoción de los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos.	Capacidad de remoción de los nanomateriales (Zhang Yan et al., 2017, p.3)	Capacidad de remoción alta Capacidad de remoción media Capacidad de remoción baja (Yan Shuwen et al., 2017, p .4)	De acuerdo al tipo de nanomaterial empleado	De acuerdo a la cantidad de estudios
¿Cuál es el mecanismo de absorción de los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos?	Analizar el mecanismo de absorción de los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos	Mecanismo de absorción de los nanomateriales (Yu Fei et al., 2016, p.1)	Enlace de hidrógeno Reacción de amidación Atracción electrostática Interacción hidrofóbica Llenado de poros (Li M. et al., 2019, p.2)	De acuerdo al contaminante presente	De acuerdo a la característica del proceso de adsorción
¿Cuáles son los tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos?	Evaluar los tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos	Tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales (Nie Jianxin et al., 2020, p.4)	Fotocatálisis Oroceso Fenton Ozonización (Li D. y Shi W., 2016, p.2).	De acuerdo a los nanomateriales a base de grafeno usados	De acuerdo a la cantidad de fuentes en cada tipo de sistema usado

3.3 Escenario de estudio

Como esta investigación es una revisión sistemática, el escenario de estudio lo vamos a encontrar en cada lugar encontrado en las literaturas, es decir en cada artículo científico que ha sido usado para el desarrollo de esta investigación hemos encontrado escenarios como laboratorios o campos de investigación estos pasaran a formar parte del escenario de estudio del presente informe.

3.4 Participantes

Toda plataforma usada para la extracción de información, es decir, artículos científicos que fueron usados para el presente trabajo de investigación con el fin de resolver la problemática, comprenden así las bibliotecas virtuales, portales científicos y otros como los participantes estos son: Sciencedirect y Scopus.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

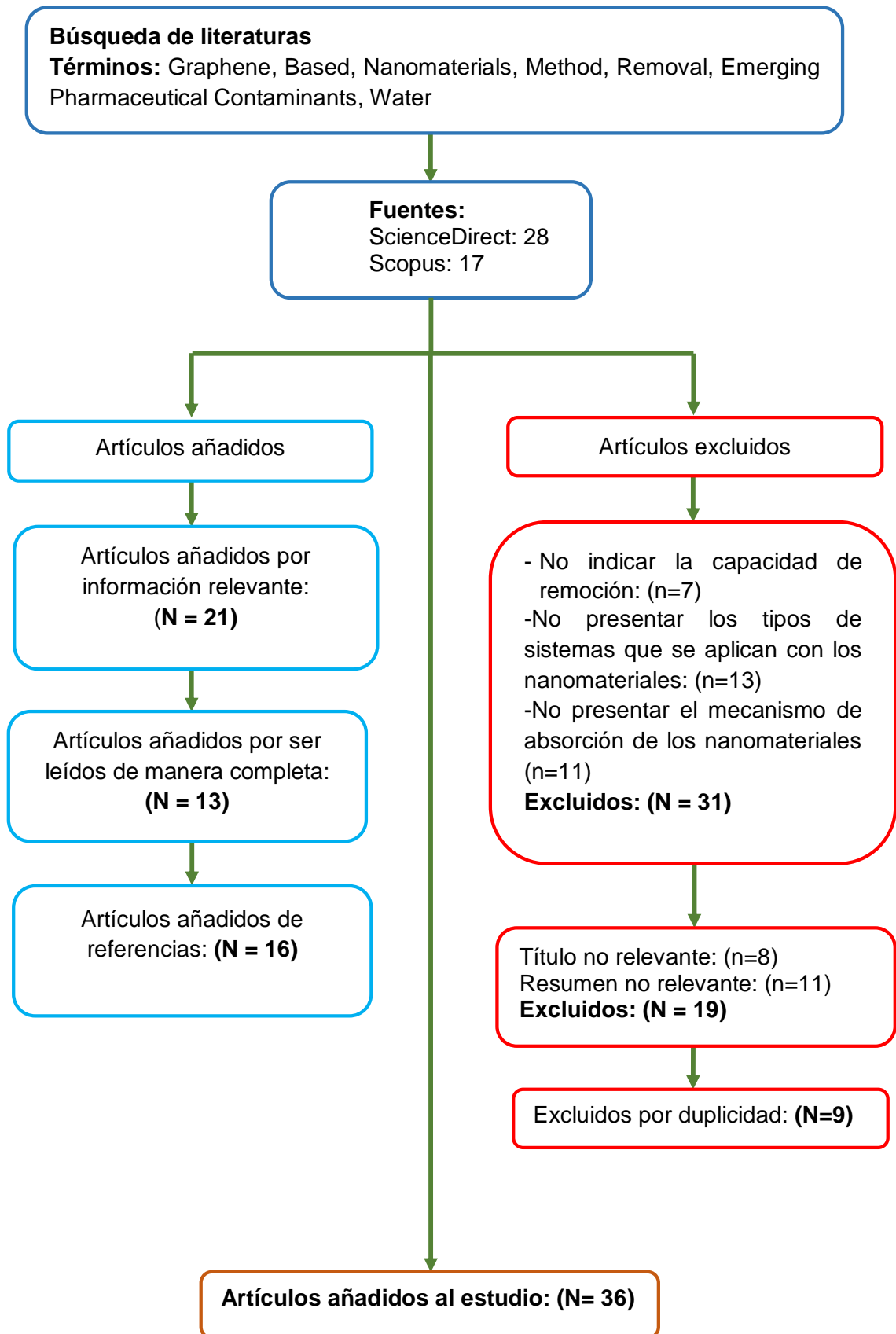
Se usó el análisis documental como técnica para el desarrollo de esta investigación, esta técnica nos permitirá recaudar la mayor información a través de diferentes fuentes o artículos científicos en este caso y generar así un documento que represente a todo el análisis de documentos. De esta forma sintetizar información sin cambios y recaudar ideas relevantes de toda información extraída.

Para el desarrollo de la técnica de análisis documental se hizo uso de la ficha de análisis de contenido como instrumento para la recolección de datos.

3.6 Procedimientos

En el siguiente grafico se muestra como se llegó a la selección de los artículos usados para el presente estudio.

Gráfico N° 2. Procedimiento de Selección de Investigaciones



3.7 Rigor científico

Para la correcta evaluación de calidad de una investigación se debe tener en cuenta que este cumpla con el rigor científico. Noreña *et al.* (2012) explica que el rigor científico permite valorar como se ha ido desarrollando el fenómeno a estudiar de manera delicada y correcta de los métodos de investigación.

Credibilidad, este criterio nos indica la autenticidad del trabajo investigado, es decir abordamos los hechos tal y como lo narran los sujetos. Además, que permite evidenciar los fenómenos y se plasma de esta forma en el trabajo de investigación, a través de sus pensamientos y emociones que vivieron los sujetos que estuvieron en contacto con el fenómeno a estudiar. Así es como en el presente trabajo los resultados están aproximados y relacionados con el fenómeno estudiado.

Transferibilidad, este criterio permite tomar los resultados de una investigación y poder llevarlos o conceptualizarlos a otros contextos. Si bien los fenómenos a estudiar están arraigados en sus tiempos o espacios, la transferibilidad puede llevar estos resultados a otros contextos a través de un exhaustivo análisis y descripción de las características del contexto esto nos servirá para concluir en lo común que puedan tener dichas investigaciones con otras.

Dependencia, este criterio abarca la estabilidad de los resultados arrojados por la investigación. Donde los resultados dados por los diferentes investigadores aporten resultados congruentes. Por ello en esta investigación no se está tomando sesgos subjetivos que puedan tergiversar los resultados a partir de nuestros pensamientos.

Confirmabilidad, este criterio permite que las descripciones hechas dentro del trabajo de investigación permitan o tengan veracidad de como lo han vivido los sujetos en contacto con el fenómeno y los datos recolectados que se está plasmando a través del investigador dentro de la investigación.

3.8 Método de análisis de información

El método usado para el presente estudio fue el de triangulación, mediante este estudio se analizó y se sintetizó la información para resolver los problemas

planteados. Así es mediante el uso de la matriz apriorística se dividió los objetivos específicos en categorías y sub categorías, como se indica a continuación:

CATEGORÍAS	SUB CATEGORÍAS
Capacidad de remoción de los nanomateriales	Capacidad de remoción alta Capacidad de remoción media Capacidad de remoción baja
Mecanismo de absorción de los nanomateriales	Enlace de hidrógeno Reacción de amidación Atracción electrostática Interacción hidrofóbica Llenado de poros
Tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales	Fotocatálisis Oroceso Fenton Ozonización

Elaboración propia

3.9 Aspectos éticos

Para efectuar con la claridad y veracidad de la información del presente estudio hemos cumplido y aplicado los aspectos éticos. Se hizo uso de la norma ISO 690 donde cumplimos con la correcta descripción de las referencias bibliográficas de cada información que se ha extraído de diferentes fuentes usadas para el desarrollo del informe, además de la correcta aplicación de la Norma Vigente por la universidad Cesar Vallejo y la Guía de productos observables.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La capacidad de remoción de los Nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua se determina con la tabla 2.

Tabla N°2. Capacidad de remoción de los nanomateriales

<i>Nanomateriales grafeno</i>	<i>de Tipo de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua</i>	<i>de Capacidad de remoción</i>	<i>Fuente</i>
GO	Sulfadiazina (SD)	184.9 mg g ⁻¹	Peng Bingquan et al., (2016)
	Sulfametoxazol (SMX)	181.3 mg g ⁻¹	
	Sulfametoxazina (SMZ)	196.3 mg g ⁻¹	
	Cefalexina (CFX)	207.2 mg g ⁻¹	
	Ofloxacina (OFL)	199.2 mg g ⁻¹	
	Amoxicilina (AMOX)	198.2 mg g ⁻¹	
	Tetraciclina (TC)	200.2 mg g ⁻¹	
GO	Sulfamethazine (SMT)	104.9 mg g ⁻¹	Zhuang S. et al., (2018)
GO con KOH	Tetraciclina (TC)	532.6 mg g ⁻¹	Ma Jie et al., (2017)
GO	Ciprofloxacina (CIP)	173.4 mg g ⁻¹	Rostamian R. y Behnejad H., (2018)
	Tetraciclina (TC)	97.0 mg g ⁻¹	
GO	Ciprofloxacina (CIP)	409.0 mg g ⁻¹	

	Levofloxacin (LEV)	303.0 mg g ⁻¹	Sun Kaixuan et al., (2018)
GO	Ciprofloxacin (CIP)	18.7 mg g ⁻¹	Yadav Sarita et al., (2018)
	Norfloxacin (NOR)	24.9 mg g ⁻¹	
GO	Levofloxacin (LEV)	256.6 mg g ⁻¹	Dong Shuman et al., (2016)
rGO	Sulfapiridina (SPY)	191.0 ± 24.3	Liu Fei fei et al., (2016)
	Sulfatiazol (STZ)	245.0 ± 36.7	
Óxido de grafeno magnético	clortetraciclina (CTC)	162.4 mg g ⁻¹	Miao Jiahe et al., (2019)
Fe ₃ O ₄ @GO	Tetraciclina (TC)	603.7 mg g ⁻¹ (20 °C)	Huang Binyan et al., (2017)
		713.9 mg g ⁻¹ (30 °C)	
		1272 mg g ⁻¹ (40 °C)	
Esponja magnética de grafeno (MGOS)	Tetraciclina (TC)	473.0 mg g ⁻¹	Yu Baowei et al., (2017)
Óxido de grafeno reducido con tiourea	Tetraciclina (TC)	1233 mg g ⁻¹ (313 K)	Yang Cao et al., (2017)
Óxido de grafeno			
GO/MNPseSrTiO ₃	Tetraciclina (TC)	65.8 mg g ⁻¹	Nodeh y Sereshti, (2016)
	Cefotaxima	18.2 mg g ⁻¹	
Grafeno injertado con quitosano magnético	Ciprofloxacin (CIP)	282.9 mg g ⁻¹	Wang Fei et al., (2016)

Óxido				
Óxido de grafeno magnético/nitriolotriacético	Tetraciclina (TC)	294.1 mg g ¹		Li Mei fang et al., (2018)
	Ciprofloxacina (CIP)	111.7 mg g ¹		
Polianilina magnética/Oxido de grafeno	Ciprofloxacina (CIP)	97%		Nodeh Mohammad K. et al., (2018)
Óxido de grafeno recubierto de polidopamina/Fe ₃ O ₄ (PDA@GO/Fe ₃ O ₄)	Fluoroquinolona	70.9 mg g ¹		He Jinxing et al., (2020)
		95.0%		
Óxido de grafeno/biocarbón (GO-BC)	Sulfamethazine (SMT)	23.4 umol g ¹		Huang Danlian et al., (2017)
Hidrogel 3D-rGO/Fe ₃ O ₄	Tetraciclina (TC)	2.780 mmol g ¹		Shan Sanna et al., (2018)
Alginato de sodio/óxido de grafeno	Ciprofloxacina (CIP)	25.9 mg g ¹		Yu Fei et al., (2016)
Alginato de sodio/óxido de grafeno perlas de hidrogel	Ciprofloxacina (CIP)	100.0 mg g ¹		Zhao Pingping et al., (2018)
Grafeno 3D/MnO ₂	Tetraciclina (TC)	94.0% (40 °C)		Song Chao et al., (2019)
Membrana de óxido de grafeno/carbón activado (GO/ AC)	Tetraciclina (TCH)	449.0 mg g ¹		Liu Ming Kai et al., (2017)
Membrana PDDA-MWCNTs/GO	Tetraciclina (TCH)	99.2%		Yang Guo hai et al., (2018)

Elaboración propia

La capacidad de remoción de los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua dependen de las diferentes estructuras y grupos químicos del grafeno prístino, el GO y el rGO; donde mediante la comparación de 36 estudios científicos a nivel mundial se pudo comprobar que la mayor capacidad de remoción se presente con la membrana GO; siendo este GO /AC el cual es a base de carbón activado, GO/ puro, GO/CNT a con nanotubos de carbono, donde entre esta clasificación el GO/AC es el que presenta una capacidad de adsorción de 449,0 mg g⁻¹, debido a las fuertes interacciones de GO/AC a través de las interacciones de enlace p-p, el enlace de hidrógeno, la interacción electrostática y las fuerzas de Van der Waals.

Ello es corroborado por: Song Chao et al., (2019), Shan Sanna et al., (2018), Huang Danlian et al., (2017).

Además, la máxima mayor eliminación se da para el contaminante farmacéuticos emergentes Ciprofloxacina (CIP) y Tetraciclina (TC). Así mismo, ello es corroborado por Liu Ming Kai et al., (2017), Yang Guo hai et al., (2018), Huang Danlian et al., (2017).

Por otro lado, los nanomateriales a base de grafeno 2D presentan una capacidad de remoción menor a diferencia de los 3D; ello debido a que las estructuras porosas 3D presentan alta superficie específica que les permite ser agentes ideales para la eliminación de antibióticos de la solución acuosa con excelente capacidad de adsorción y reciclabilidad.

Song Chao et al., (2019), en su estudio utilizó MnO₂ como catalizador para lograr la degradación de tetraciclina (TC) in situ en la superficie de grafeno tridimensional (3DG), donde obtuvo que la tetraciclina se eliminó eficientemente mediante grafeno tridimensional por adsorción y degradación; esto debido a que, los iones inorgánicos compiten con la tetraciclina (TC), por la vacante o los sitios reactivos en la superficie de 3DG/MnO₂ para inhibir la eliminación de TC.

Respaldando la afirmación anterior Yang Gui H. et al., (2018, p.1), proponemos una nueva membrana de nanofiltración (NF) totalmente de carbono que consta de nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT) interpuestos entre nanoláminas

de óxido de grafeno (GO) para formar una estructura tridimensional (3D), donde los resultados muestran que la membrana preparada, con un espesor de 4,26 μm , muestra una alta adsorción del 99,23 % para el clorhidrato de tetraciclina (TCH) y una alta permeabilidad al agua de 16,12 $\text{L m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ bar}^{-1}$. Además, el colorante catiónico azul de metileno (MB) también se eliminó en un 83,88 %, lo que indica amplias aplicaciones de la membrana preparada.

Así mismo, los autores que apoyan las afirmaciones presentadas respecto a la eficiencia de los nanomateriales 3D son: Peng Bingquan et al., (2016), Zhuang S. et al., (2018), Rostamian R. y Behnejad H., (2018), Sun Kaixuan et al., (2018), Yadav Sarita et al., (2018), Dong Shuman et al., (2016).

Por su parte, Wang Jin et al., (2017), demuestra que la eficiencia de adsorción de los nanomateriales exhibe una alta eficiencia de adsorción con un 97 % de eliminación de CIP (pH 6, dosis 20 mg, tiempo 30 min a temperatura ambiente).

Al igual Yang H. et al., (2018, p.1), también presentó como resultado de estudio una capacidad de remoción de los nanomateriales basados en grafeno una alta adsorción del 99,23 % para el clorhidrato de tetraciclina (TCH) y una alta permeabilidad al agua de 16,12 $\text{L m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ bar}^{-1}$.

Así también, Wang Jin et al., (2017, p.1), demuestra que las capacidades máximas de adsorción de GO-CNF fueron 469,7, 396,5, 386,5 y 343,8 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ para Doxiciclina (DXC), Clortetraciclina (CTC), Oxitetraciclina (OTC) y Tetraciclina (TC), respectivamente; en consecuencia, el aerogel de nanofibrillas de celulosa/híbrido de óxido de grafeno (GO-CNF) sintetizado fue una aplicación exitosa de eliminación efectiva de antibióticos.

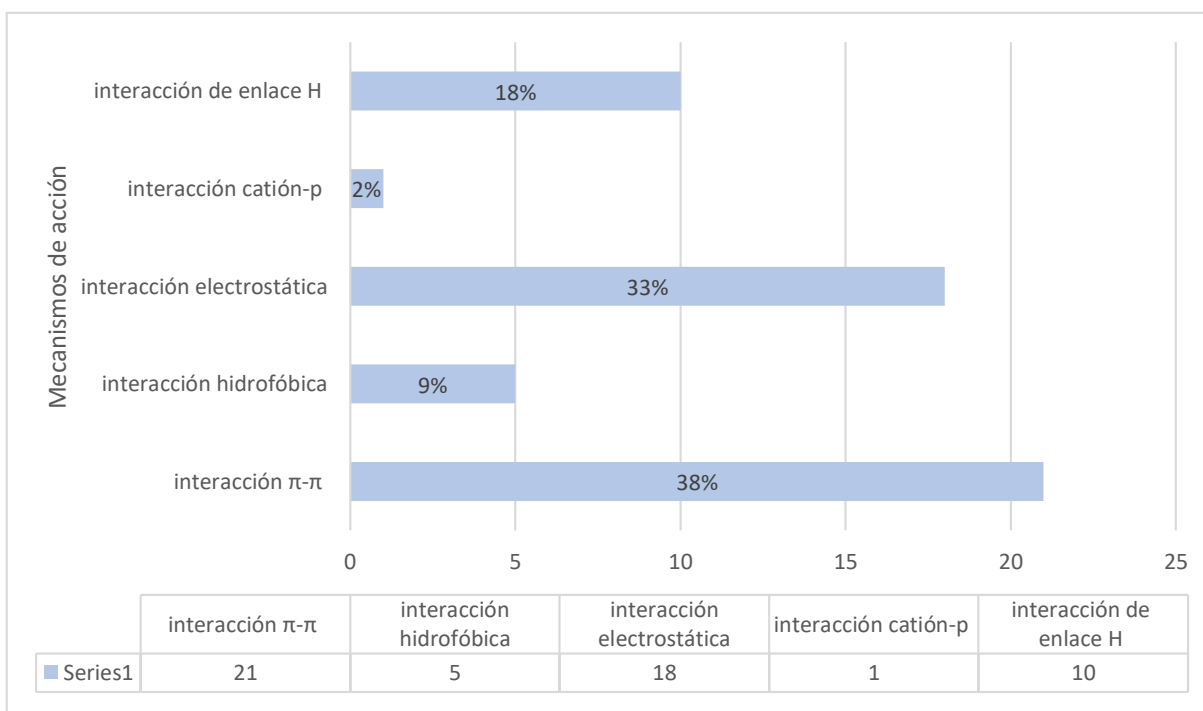
De manera análoga se analizó el mecanismo de adsorción de los nanomateriales basados en grafeno, donde se presentan los resultados en la tabla 3.

Tabla N°3. Mecanismos de acción de los nanomateriales

<i>Mecanismos de acción</i>	<i>Fuente</i>
<i>Interacción π-π, interacción hidrofóbica, interacción de enlace H, interacción electrostática</i>	Peng Bingquan et al., (2016)
<i>Interacción π-π</i>	Zhuang S. et al., (2018)
<i>Interacción electrostática, interacción π-π EDA, interacción catión-p</i>	Ma Jie et al., (2017)
<i>Enlace catión-p, interacción π-π</i>	Rostamian R. y Behnejad H., (2018)
<i>Atracción electrostática, interacción π-π, interacción hidrofóbica, EDA π-π, enlace H</i>	Sun Kaixuan et al., (2018)
<i>Enlace H</i>	Yadav Sarita et al., (2018)
<i>Interacción π-π, interacciones electrostáticas</i>	Dong Shuman et al., (2016)
<i>Interacción hidrofóbica, interacción π-π EDA, interacción electrostática</i>	Liu Fei fei et al., (2016)
<i>Interacción electrostática</i>	Miao Jiahe et al., (2019)
<i>Interacción electrostática, hidrógeno, enlaces π-π, ligando</i>	Huang Binyan et al., (2017)
<i>Interacción electrostática</i>	Yu Baowei et al., (2017)
<i>Interacciones electrostáticas, interacciones π-π, interacciones hidrofóbicas</i>	Yang Cao et al., (2017)
<i>Interacción π-π</i>	Nodeh y Sereshti, (2016)
<i>Atracción electrostática, interacción electrónica π-π</i>	Wang Fei et al., (2016)
<i>Interacción π-π, enlaces de hidrógeno, reacción de amidación, catión-p y la interacción electrostática</i>	Li Mei fang et al., (2018)

<i>Apilamiento π-π, interacciones electrostáticas de enlace H</i>	Nodeh Mohammad K. et al., (2018)
<i>No indica</i>	He Jinxing et al., (2020)
<i>π-π EDA, llenado de poros, intercambio de cationes, enlace de hidrógeno, interacción electrostática</i>	Huang Danlian et al., (2017)
<i>Enlace de hidrógeno, interacciones π-π oxidación catalítica tipo Fenton</i>	Shan Sanna et al., (2018)
<i>Interacción π-π EDA</i>	Yu Fei et al., (2016)
<i>Interacción hidrofóbica, interacción electrostática, intercambio iónico, enlace H</i>	Zhao Pingping et al., (2018)
<i>Adsorción, degradación</i>	Song Chao et al., (2019)
<i>Enlace de hidrógeno, apilamiento de electrones π-π, interacciones electrostática, fuerzas de Van der Waals</i>	Liu Ming Kai et al., (2017)
<i>interacción electrostática</i>	Yang Guo hai et al., (2018)

Gráfico N°3. Mecanismo de adsorción de los nanomateriales basados en grafeno



Elaboración propia

De acuerdo al gráfico 3 respecto a la tabla 3 se tiene que la interacción π - π fue el mecanismo de acción que más usan los los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de los contaminantes farmacéuticos emergentes del agua; siendo ello corroborado por el 38% de los investigadores; así como la interacción electrostática con un 33% y la interacción de enlace hidrógeno con un 18%.

Además, la adsorción dominante es a través de la interacción p-p y la adsorción secundaria es a través de la interacción de enlace de hidrógeno, la interacción electrostática, la interacción hidrofóbica y el llenado de poros.

Zhuang S. et al., (2018), Nodeh y Sereshti, (2016), Rostamian R. y Behnejad H., (2018), Peng Bingquan et al., (2016), presentan como mecanismo de acción de los nanomateriales usados oxido de grafeno como nanomaterial.

Wang Jin et al., (2017, p.1), en su estudio preparó una microestructura de red 3D interconectada basada en nanoláminas GO cultivadas a lo largo de CNF a través de enlaces de hidrógeno; donde, el aerogel exhibió una capacidad de adsorción superior a cuatro tipos de antibióticos. Los porcentajes de remoción de estos antibióticos fueron 81.5%, 79.5%, 79.1% y 73.9% para Doxiciclina (DXC), Clortetraciclina (CTC), Oxitetraciclina (OTC) y Tetraciclina (TC), respectivamente.

Así también, Zhuang Yuan et al., (2019, p.1), explica como los resultados obtenidos a través de la teoría funcional de la densidad (DFT) indican que los electrones podrían transferirse desde el área de N en tetraciclina al área de Fe en el material, en base a lo cual encontramos una interacción especial π - π (entre tetraciclina y grafeno) junto con interacciones π -Fe (entre grafeno y α -FeOOH) como un método eficiente de eliminación de contaminantes.

Por último, los tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua

Tabla N°4. Tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales basados en grafeno

Tipo de sistema	Nanomateriales a base de grafeno	Capacidad de extracción	Fuente
Fotocatálisis	GO/goethita	84,0%(120min) del tylosin	Shan Xiaoling et al., (2017)
Fotocatálisis	Co3O4eTiO2/GO	91.0% (90min) de Oxitetraciclina (OTC)	Jo Wan kuen et al., (2017)
Fotocatálisis	TiO2-rGO	87 ± 4% de Sulfametoxazol (SMX)	Karaolia Popi et al., (2018)
Fotocatálisis	NeTiO2/rGO	98.0% (60min) de Clorhidrato de tetraciclina (TC)	Tang Xinde et al., (2018)
Fotocatálisis	Grafeno holey dopado con TiO2/nitrógeno	92.3% (90min) de Cefixima	Shaniba Cheriyaathvalappol et al., (2020)
Fotocatálisis	rGO/ZnTe	65.0% de Tetraciclina (TC)	Chakraborty K. et al., (2018)
Fotocatálisis	BiOCl/Bi24O31Cl10/rGO	90.0% de Fluoroquinolon	Shabani Maryam et al., (2019)
Fotocatálisis	BiVO4/N-rGO	95.0% de Metronidazol (MTZ)	Appavu B. et al., (2018)
Fenton	hidrogeles FeOOH/RGO	a- 97.3% de Tetraciclina (TC)	Zhuang Yuan et al., (2019)
Ozonización	Grafeno dopado con heteroátomos	83.0% (rGO) 95.0% (N-GO) 99.0% (P-GO) de Sulfametoxazol (SMX)	Yin Renli et al., (2017)
Electro-Fenton	RGO-Ce/WO3	100% (1 h) de Ciprofloxacina (CIP)	Mi Xueyue et al., (2019)
Electro-Fenton	Fc-ErGO	>99.9% de Sulfametoxazol (SMX)	Divyapriya G. et al., (2018)

Elaboración propia

En la tabla 4 se representa los tipos de sistemas que se aplican con los procesos de oxidación avanzados (AOPs) en nanomateriales basados en grafenos para la eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua; donde se tiene

que la fotocatalisis es el tipo de sistema más usado, ello debido a que, este enfoque se considera una forma muy eficaz de degradar los contaminantes evitando la contaminación secundaria.

Así mismo, lo corroboran Shan Xiaoling et al., (2017), Jo Wan kuen et al., (2017), Karaolia Popi et al., (2018), Tang Xinde et al., (2018), Shaniba Cheriyaathvalappol et al., (2020), Chakraborty K. et al., (2018), Shabani Maryam et al., (2019), Appavu B. et al., (2018).

Sheydaei M. et al., (2018, p.1), en su estudio para mejorar el rendimiento de la aplicación de nanomateriales a base de grafeno empleó la fotocatalisis; comparando que el rendimiento del nanocompuesto de N-TiO₂/GO inmovilizado en el proceso de ozonización fotocatalítica conduce a la eliminación del 80% de la cefixima y este resultado es mucho mayor que los procesos de adsorción individual (17%), degradación fotocatalítica (29%) y ozonización (51%) en condiciones similares.

Así mismo, Checa M. et al., (2019, p.1), apoya la afirmación anterior, demostrando que con la aplicación de ozonificación fotocatalítica de óxido de grafeno-titania (GO/TiO₂) la presencia de GO en el catalizador mejoró la mineralización hasta en un 82 % en 2 h en comparación con el 70 % alcanzado con TiO₂ desnudo. Mientras que, por su parte Vinesh V. et al., (2019, p.1), indica que con la aplicación de la fotocatalisis se logró una degradación completa (100%) de TC con un efecto sinérgico de 1,3 veces cuando el ultrasonido se combinó con la fotocatalisis en 1 h y que la actividad de degradación mejorada se atribuyó principalmente al efecto combinado.

V. CONCLUSIONES

Se puede concluir que la importancia de la aplicación de nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua radica en la eliminación de estos contaminantes mediante la adsorción hacia los diversos nanomateriales GNMs, por medio de diversos mecanismos de acción, interacción y los tipos de sistemas que se apliquen, presentando los detalles a continuación:

1. La capacidad de remoción de los Nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua dependen de las diferentes estructuras y grupos químicos del grafeno prístino, como el GO y el rGO; donde mediante la comparación de 36 estudios científicos a nivel mundial se pudo comprobar que la mayor capacidad de remoción se presente con la membrana GO; siendo este GO /AC el cual es a base de carbón activado, GO/ puro, GO/CNT a con nanotubos de carbono, donde entre esta clasificación el GO/AC es el que presenta una capacidad de adsorción de 449,0 mg g⁻¹, debido a las fuertes interacciones de GO/AC a través de las interacciones de enlace p-p, el enlace de hidrógeno, la interacción electrostática y las fuerzas de Van der Waals.
2. El mecanismo de adsorción de los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua es la interacción π - π siendo ello corroborado por el 38% de los investigadores; así como la interacción electrostática con un 33% y la interacción de enlace hidrógeno con un 18%. Además, la adsorción dominante es a través de la interacción p-p y la adsorción secundaria es a través de la interacción de enlace de hidrógeno, la interacción electrostática, la interacción hidrofóbica y el llenado de poros.
3. Los tipos de sistemas que se aplican con los nanomateriales basados en grafeno como método de eliminación de contaminantes farmacéuticos emergentes del agua son la fotocatalisis, como el método más usado, debido a que, este enfoque se considera una forma muy eficaz de degradar los contaminantes evitando la contaminación secundaria; pero también se encuentran el tipo fenton y la ozonificación.

VI. RECOMENDACIONES

En base a la investigación realizada de 36 literaturas a nivel mundial se puede presentar las siguientes recomendaciones a los futuros investigadores:

Para degradar mayor cantidad de antibióticos se recomienda que el grafeno se combine con foto catalizadores semiconductores para una mayor degradación; ya que, entre los investigadores que aplicaron la fotocatalisis la mayoría demuestra que el uso combinado de fotocatalizadores presenta mejores resultados.

Así también se recomienda realizar estudios a nivel de Latinoamérica, ya que entre la búsqueda de investigaciones no hay artículos enfocados en la contaminación por contaminantes farmacéuticos emergentes del agua en Latinoamérica y es claro que las realidades de contaminación con otros países desarrollados son distintas y por ende se deben emplear diferentes tipos de métodos de eliminación.

Así también, se recomienda realizar estudios en los cuales se enfoquen en ver el comportamiento fisicoquímico de los nanomateriales a base de grafeno, debido a que, aunque presenten eficientes resultados de eliminación de contaminantes estos presentan una complicada reutilización, siendo esta una de las desventajas, por tal motivo puede presentar una posible contaminación ambiental, siendo importa el estudio fisicoquímico del comportamiento de estos GNM donde se estudió su adsorción y toxicidad en el ecosistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANIRUDHAN, T. S.; DEEPA, J. R. Nano-zinc oxide incorporated graphene oxide/nanocellulose composite for the adsorption and photo catalytic degradation of ciprofloxacin hydrochloride from aqueous solutions. *Journal of colloid and interface science*, 2017, vol. 490, p. 343-356. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.11.042>
2. APPAVU, Brindha, et al. BiVO₄/N-rGO nano composites as highly efficient visible active photocatalyst for the degradation of dyes and antibiotics in eco system. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 151, p. 118-126. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.008>
3. AUS DER BEEK, Tim, et al. Pharmaceuticals in the environment—Global occurrences and perspectives. *Environmental toxicology and chemistry*, 2016, vol. 35, no 4, p. 823-835. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/etc.3339>
4. BAI, Lizhen, et al. Synthesis of water-dispersible graphene-modified magnetic polypyrrole nanocomposite and its ability to efficiently adsorb methylene blue from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 2015, vol. 279, p. 757-766. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.05.068>
5. BAI, Xuelian, et al. Occurrence, distribution, and seasonality of emerging contaminants in urban watersheds. *Chemosphere*, 2018, vol. 200, p. 133-142. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.106>
6. BAI, Xuelian; ACHARYA, Kumud. Algae-mediated removal of selected pharmaceutical and personal care products (PPCPs) from Lake Mead water. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 581, p. 734-740. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.192>
7. BANDALA, Erick R.; BERLI, Markus. Engineered nanomaterials (ENMs) and their role at the nexus of Food, Energy, and Water. *Materials Science for Energy Technologies*, 2019, vol. 2, no 1, p. 29-40. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mset.2018.09.004>

8. BILAL, Muhammad, et al. Peroxidases-assisted removal of environmentally-related hazardous pollutants with reference to the reaction mechanisms of industrial dyes. *Science of the total environment*, 2018, vol. 644, p. 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.274>
9. BLOEM, E., et al. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: a review. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 607, p. 225-242. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.274>
10. BLUNT, Susanna M., et al. Association between degradation of pharmaceuticals and endocrine-disrupting compounds and microbial communities along a treated wastewater effluent gradient in Lake Mead. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 622, p. 1640-1648. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.052>
11. CAI, Ximing, et al. Understanding and managing the food-energy-water nexus—opportunities for water resources research. *Advances in Water Resources*, 2018, vol. 111, p. 259-273. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.11.014>
12. CAI, Zhengqing, et al. Application of nanotechnologies for removing pharmaceutically active compounds from water: development and future trends. *Environmental Science: Nano*, 2018, vol. 5, no 1, p. 27-47. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C7EN00644F>
13. CHAKRABORTY, Koushik; PAL, Tanusri; GHOSH, Surajit. RGO-ZnTe: a graphene based composite for tetracycline degradation and their synergistic effect. *ACS Applied Nano Materials*, 2018, vol. 1, no 7, p. 3137-3144. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsanm.8b00295>
14. CHECA, M., et al. Graphene oxide/titania photocatalytic ozonation of primidone in a visible LED photoreactor. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 369, p. 70-78. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.025>

15. DE MATOS, Paulo Ricardo, et al. Use of recycled water from mixer truck wash in concrete: Effect on the hydration, fresh and hardened properties. *Construction and Building Materials*, 2020, vol. 230, p. 116981. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.647788>
16. DEY, Saptarshi; BANO, Farhat; MALIK, Anushree. Pharmaceuticals and personal care product (PPCP) contamination—a global discharge inventory. *En Pharmaceuticals and Personal Care Products: Waste Management and Treatment Technology*. Butterworth-Heinemann, 2019. p. 1-26. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816189-0.00001-9>
17. DIVYAPRIYA, Govindaraj; NAMBI, Indumathi; SENTHILNATHAN, Jaganathan. Ferrocene functionalized graphene based electrode for the electro- Fenton oxidation of ciprofloxacin. *Chemosphere*, 2018, vol. 209, p. 113-123. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.148>
18. DONG, Shunan, et al. Graphene oxide as filter media to remove levofloxacin and lead from aqueous solution. *Chemosphere*, 2016, vol. 150, p. 759-764. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.075>
19. EL-RAMADY, Hassan, et al. Nanoremediation for sustainable crop production. *En Nanoscience in Food and Agriculture 5*. Springer, Cham, 2017. p. 335-363. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-58496-6_12
20. FIGUEROA, Anjali Jain; SMILOVIC, Mikhail. Groundwater irrigation and implication in the Nile river basin. *En Global Groundwater*. Elsevier, 2021. p. 81-95. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818172-0.00007-4>
21. FIJALKOWSKI, Krzysztof. Emerging contaminants in sludge (endocrine disruptors, pesticides, and pharmaceutical residues, including illicit drugs/controlled substances, etc.). *Industrial and Municipal Sludge*, 2019, p. 455-473. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00020-9>
22. GOONETILLEKE, Ashantha, et al. Stormwater reuse, a viable option: Fact or fiction?. *Economic Analysis and Policy*, 2017, vol. 56, p. 14-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eap.2017.08.001>

23. GOGOI, Anindita, et al. Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: a review. *Groundwater for Sustainable Development*, 2018, vol. 6, p. 169-180. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.009>
24. GOMES, Inês B.; SIMÕES, Lúcia C.; SIMÕES, Manuel. The effects of emerging environmental contaminants on *Stenotrophomonas maltophilia* isolated from drinking water in planktonic and sessile states. *Science of the total environment*, 2018, vol. 643, p. 1348-1356. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.263>
25. HE, Jinxing, et al. Preparation of polydopamine-coated, graphene oxide/Fe₃O₄-imprinted nanoparticles for selective removal of sulfonylurea herbicides in cereals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, vol. 100, no 10, p. 3822-3831. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10419>
26. HUANG, Binyan, et al. Effect of Cu (II) ions on the enhancement of tetracycline adsorption by Fe₃O₄@ SiO₂-Chitosan/graphene oxide nanocomposite. *Carbohydrate polymers*, 2017, vol. 157, p. 576-585. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.025>
27. HUANG, Danlian, et al. Sorptive removal of ionizable antibiotic sulfamethazine from aqueous solution by graphene oxide-coated biochar nanocomposites: influencing factors and mechanism. *Chemosphere*, 2017, vol. 186, p. 414-421. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.154>
28. JO, Wan-Kuen, et al. Cobalt promoted TiO₂/GO for the photocatalytic degradation of oxytetracycline and Congo Red. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2017, vol. 201, p. 159-168. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.08.022>
29. KARAOLIA, Popi, et al. Removal of antibiotics, antibiotic-resistant bacteria and their associated genes by graphene-based TiO₂ composite photocatalysts under solar radiation in urban wastewaters. *Applied Catalysis B:*

- Environmental, 2018, vol. 224, p. 810-824. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.11.020>
30. LAZARIDOU, Dimitra; MICHAILEDIS, Anastasios; MATTAS, Konstantinos. Evaluating the willingness to pay for using recycled water for irrigation. Sustainability, 2019, vol. 11, no 19, p. 5220. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su11195220>
31. LI, Di; SHI, Weidong. Recent developments in visible-light photocatalytic degradation of antibiotics. Chinese Journal of Catalysis, 2016, vol. 37, no 6, p. 792-799. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(15\)61054-3](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(15)61054-3)
32. LI, Mei-fang, et al. Graphene and graphene-based nanocomposites used for antibiotics removal in water treatment: a review. Chemosphere, 2019, vol. 226, p. 360-380. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.117>
33. LI, Mei-fang, et al. Performance of magnetic graphene oxide/diethylenetriaminepentaacetic acid nanocomposite for the tetracycline and ciprofloxacin adsorption in single and binary systems. Journal of colloid and interface science, 2018, vol. 521, p. 150-159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.03.003>
34. LIU, Fei-Fei, et al. Adsorption of sulfonamides on reduced graphene oxides as affected by pH and dissolved organic matter. Environmental pollution, 2016, vol. 210, p. 85-93. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.053>
35. LIU, Ming-kai, et al. Effective removal of tetracycline antibiotics from water using hybrid carbon membranes. Scientific reports, 2017, vol. 7, no 1, p. 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep43717>
36. MA, Jie; SUN, Yiran; YU, Fei. Self-assembly and controllable synthesis of graphene hydrogel adsorbents with enhanced removal of ciprofloxacin from aqueous solutions. RSC advances, 2016, vol. 6, no 87, p. 83982-83993. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C6RA19474E>

37. MA, Jie; SUN, Yiran; YU, Fei. Efficient removal of tetracycline with KOH-activated graphene from aqueous solution. *Royal Society open science*, 2017, vol. 4, no 11, p. 170731. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rsos.170731>
38. MARGOT, Jonas, et al. A review of the fate of micropollutants in wastewater treatment plants. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2015, vol. 2, no 5, p. 457-487. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/wat2.1090>
39. MI, Xueyue, et al. Enhanced catalytic degradation by using RGO-Ce/WO₃ nanosheets modified CF as electro-Fenton cathode: Influence factors, reaction mechanism and pathways. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 367, p. 365-374. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.074>
40. MIAO, Jiahe, et al. The adsorption performance of tetracyclines on magnetic graphene oxide: A novel antibiotics absorbent. *Applied Surface Science*, 2019, vol. 475, p. 549-558. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.01.036>
41. NIE, Jianxin, et al. Development of fluorescence surrogates to predict the ferrate (VI) oxidation of pharmaceuticals in wastewater effluents. *Water Research*, 2020, vol. 185, p. 116256. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116256>
42. NODEH, Mohammad Kazem Mohammadi, et al. Equilibrium, kinetic and thermodynamic study of magnetic polyaniline/graphene oxide based nanocomposites for ciprofloxacin removal from water. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 2018, vol. 28, no 3, p. 1226-1234. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10904-018-0782-2>
43. PATUNRU, Arianto A. Access to Safe Drinking Water and Sanitation in Indonesia. *Asia & the Pacific Policy Studies*, 2015, vol. 2, no 2, p. 234-244. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/app5.81>

44. PENG, Bingquan, et al. Adsorption of antibiotics on graphene and biochar in aqueous solutions induced by π - π interactions. Scientific reports, 2016, vol. 6, no 1, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep31920>
45. PENG, Ying, et al. Screening hundreds of emerging organic pollutants (EOPs) in surface water from the Yangtze River Delta (YRD): occurrence, distribution, ecological risk. Environmental Pollution, 2018, vol. 241, p. 484-493. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.061>
46. RAHMAN, Muhammad Muhitur; HAGARE, Dharma; MAHESHWARI, Basant. Use of recycled water for irrigation of open spaces: benefits and risks. En Balanced urban development: options and strategies for liveable cities. Springer, Cham, 2016. p. 261-288.
47. RODRÍGUEZ-NARVAEZ, Oscar M., et al. Peroxymonosulfate decomposition by homogeneous and heterogeneous Co: Kinetics and application for the degradation of acetaminophen. Journal of Environmental Sciences, 2020, vol. 93, p. 30-40. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2020.03.002>
48. RODRIGUEZ-NARVAEZ, Oscar M., et al. Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. Chemical Engineering Journal, 2017, vol. 323, p. 361-380. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.04.106>
49. ROSTAMIAN, Rahele; BEHNEJAD, Hassan. A comprehensive adsorption study and modeling of antibiotics as a pharmaceutical waste by graphene oxide nanosheets. Ecotoxicology and environmental safety, 2018, vol. 147, p. 117-123. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.019>
50. SELKÄLÄ, Tuula, et al. Rapid uptake of pharmaceutical salbutamol from aqueous solutions with anionic cellulose nanofibrils: the importance of pH and colloidal stability in the interaction with ionizable pollutants. Chemical Engineering Journal, 2018, vol. 350, p. 378-385. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.05.163>

51. SHABANI, Maryam, et al. Sono-solvothermal hybrid fabrication of BiOCl-Bi₂₄O₃₁Cl₁₀/rGO nano-heterostructure photocatalyst with efficient solar-light-driven performance in degradation of fluoroquinolone antibiotics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2019, vol. 193, p. 335-350. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.01.034>
52. SHAN, Danna, et al. Hydrophilic and strengthened 3D reduced graphene oxide/nano-Fe₃O₄ hybrid hydrogel for enhanced adsorption and catalytic oxidation of typical pharmaceuticals. *Environmental Science: Nano*, 2018, vol. 5, no 7, p. 1650-1660. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C8EN00422F>
53. SHANIBA, Cheriyaathvalappil, et al. Sunlight-assisted oxidative degradation of cefixime antibiotic from aqueous medium using TiO₂/nitrogen doped holey graphene nanocomposite as a high performance photocatalyst. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 1, p. 102204. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.02.012>
54. SHAO, Binbin, et al. Nitrogen-doped hollow mesoporous carbon spheres modified g-C₃N₄/Bi₂O₃ direct dual semiconductor photocatalytic system with enhanced antibiotics degradation under visible light. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2018, vol. 6, no 12, p. 16424-16436. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b03480>
55. SHAO, Sicheng, et al. Research progress on distribution, migration, transformation of antibiotics and antibiotic resistance genes (ARGs) in aquatic environment. *Critical reviews in biotechnology*, 2018, vol. 38, no 8, p. 1195-1208. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/07388551.2018.1471038>
56. SHEYDAEI, Mohsen, et al. Preparation of nano N-TiO₂/graphene oxide/titan grid sheets for visible light assisted photocatalytic ozonation of cefixime. *Chemical Engineering Journal*, 2018, vol. 353, p. 138-146. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.07.089>
57. SINGH, Gurudatta, et al. Application of constructed wetlands for the safe and sustainable treatment of emerging contaminants. *En Sustainable*

Environmental Clean-up. Elsevier, 2021. p. 85-104. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823828-8.00004-9>

58. SONG, Chao, et al. Enrichment and degradation of tetracycline using three-dimensional graphene/MnO₂ composites. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 358, p. 1139-1146. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.119>
59. SUN, Kaixuan, et al. Graphene oxide-facilitated transport of levofloxacin and ciprofloxacin in saturated and unsaturated porous media. *Journal of hazardous materials*, 2018, vol. 348, p. 92-99. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.032>
60. TANG, Xinde; WANG, Zhengrong; WANG, Yue. Visible active N-doped TiO₂/reduced graphene oxide for the degradation of tetracycline hydrochloride. *Chemical Physics Letters*, 2018, vol. 691, p. 408-414. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2017.11.037>
61. TRAN, Mai Lien; FU, Chun-Chieh; JUANG, Ruey-Shin. Removal of metronidazole by TiO₂ and ZnO photocatalysis: a comprehensive comparison of process optimization and transformation products. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25, no 28, p. 28285-28295. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2848-7>
62. TRAN, Ngoc Han; REINHARD, Martin; GIN, Karina Yew-Hoong. Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants from different geographical regions-a review. *Water research*, 2018, vol. 133, p. 182-207. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.029>
63. UEN, Tinn-Shuan, et al. Exploring synergistic benefits of Water-Food-Energy Nexus through multi-objective reservoir optimization schemes. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 633, p. 341-351. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.172>
64. VÄLITALO, Pia, et al. Toxicological impacts of antibiotics on aquatic microorganisms: a mini-review. *International Journal of Hygiene and Environmental*

Health, 2017, vol. 220, no 3, p. 558-569. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.02.003>

65. VILLASEÑOR-BASULTO, Déborah L., et al. Wastewater treatment using *Moringa oleifera* Lam seeds: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 2018, vol. 23, p. 151-164. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.03.017>

66. VINESH, V.; SHAHEER, A. R. M.; NEPPOLIAN, B. Reduced graphene oxide (rGO) supported electron deficient B-doped TiO₂ (Au/B-TiO₂/rGO) nanocomposite: an efficient visible light sonophotocatalyst for the degradation of Tetracycline (TC). *Ultrasonics sonochemistry*, 2019, vol. 50, p. 302-310. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.030>

67. WANG, Fei, et al. Removal of ciprofloxacin from aqueous solution by a magnetic chitosan grafted graphene oxide composite. *Journal of Molecular Liquids*, 2016, vol. 222, p. 188-194. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.07.037>

68. WANG, Jin, et al. One-step preparation of graphene oxide/cellulose nanofibril hybrid aerogel for adsorptive removal of four kinds of antibiotics. *Journal of Nanomaterials*, 2017, vol. 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2017/5150613>

69. WILKINSON, John L., et al. Ecotoxic pharmaceuticals, personal care products, and other emerging contaminants: A review of environmental, receptor-mediated, developmental, and epigenetic toxicity with discussion of proposed toxicity to humans. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2016, vol. 46, no 4, p. 336-381. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1096876>

70. SHAN, Xiaoling, et al. Surface modification of graphene oxide by goethite with enhanced tylosin photocatalytic activity under visible light irradiation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2017, vol. 520, p. 420-427. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.01.077>

71. YADAV, Sarita, et al. Removal of fluoroquinolone from aqueous solution using graphene oxide: experimental and computational elucidation. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25, no 3, p. 2942-2957. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0596-8>
72. YANG, Cao, et al. Un novedoso fotocatalizador compuesto de óxido de grafeno/MOF basado en luz visible con actividad fotocatalítica mejorada hacia la degradación de la amoxicilina. *Catálisis aplicada B: ambiental*, 2017, vol. 200, pág. 673-680. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.07.057>
73. YANG, Guo-hai, et al. Removal of antibiotics from water with an all-carbon 3D nanofiltration membrane. *Nanoscale research letters*, 2018, vol. 13, no 1, p. 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2555-9>
74. YAN, Shuwen, et al. Development of fluorescence surrogates to predict the photochemical transformation of pharmaceuticals in wastewater effluents. *Environmental science & technology*, 2017, vol. 51, no 5, p. 2738-2747. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b05251>
75. YIN, Renli, et al. Heteroatoms doped graphene for catalytic ozonation of sulfamethoxazole by metal-free catalysis: Performances and mechanisms. *Chemical Engineering Journal*, 2017, vol. 317, p. 632-639. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.01.038>
76. YU, Baowei, et al. Adsorption behaviors of tetracycline on magnetic graphene oxide sponge. *Materials Chemistry and Physics*, 2017, vol. 198, p. 283-290. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.05.042>
77. YU, Fei, et al. Adsorptive removal of antibiotics from aqueous solution using carbon materials. *Chemosphere*, 2016, vol. 153, p. 365-385. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.083>
78. ZENG, Zhi-wei, et al. Comprehensive adsorption studies of doxycycline and ciprofloxacin antibiotics by biochars prepared at different temperatures.

Frontiers in chemistry, 2018, vol. 6, p. 80. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00080>

79. ZHANG, Yan, et al. Removal of tetracycline and oxytetracycline from water by magnetic Fe₃O₄@ graphene. Environmental Science and Pollution Research, 2017, vol. 24, no 3, p. 2987-2995. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7964-7>

80. ZHAO, Hong, et al. Graphene-based nanomaterials for drug and/or gene delivery, bioimaging, and tissue engineering. Drug Discovery Today, 2017, vol. 22, no 9, p. 1302-1317. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2017.04.002>


81. ZHAO, Pingping, et al. Sodium alginate/graphene oxide hydrogel beads as permeable reactive barrier material for the remediation of ciprofloxacin-contaminated groundwater. Chemosphere, 2018, vol. 200, p. 612-620. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.157>

82. ZHUANG, Shuting; ZHU, Xin; WANG, Jianlong. Kinetic, equilibrium, and thermodynamic performance of sulfonamides adsorption onto graphene. Environmental Science and Pollution Research, 2018, vol. 25, no 36, p. 36615-36623. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3368-1>

83. ZHUANG, Yuan, et al. Enhanced antibiotic removal through a dual-reaction-center Fenton-like process in 3D graphene based hydrogels. Environmental Science: Nano, 2019, vol. 6, no 2, p. 388-398. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C8EN01339J>

ANEXOS

ANEXOS N° 1

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO	
DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION	LUGAR DE PUBLICACION
TIPO DE INVESTIGACION:		
CÓDIGO:		
PALABRAS CLAVES:		
CAPACIDAD DE REMOCION DE LOS NANOMATERIALES		
MECANISMO DE ABOSRCION DE LOS NANOMATERIALES		
SISTEMAS QUE APLICAN CON LOS NANOMATERIALES		
RESULTADOS:		
CONCLUSIONES:		

Elaboración propia