



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el  
Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE :  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Campos Rodríguez, Melvin Jarom (ORCID: 0000-0001-6840-646X)

Marchán Vargas, Jessica Fabiola (ORCID: 0000-0002-8306-2631)

**ASESOR:**

Mg. Solórzano Acosta, Richard Andi (ORCID: 0000-0003-3248-046X)

**Línea de Investigación:**

Calidad y Gestión de Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

En primer lugar, a Dios por darnos conocimientos y las facultades intelectuales para poder desarrollar esta investigación, a nuestros padres y familia quienes nos alentaron y motivaron en el camino, a nuestros docentes por transmitirnos su saber y por la disposición de guiarnos y a nosotros mismos por el trabajo arduo realizado.

## **Agradecimiento**

Nuestro agradecimiento al M. Sc. Solórzano Acosta Richard Andi por su asesoría, y al Dr. Valdivieso Gonzales Lorgio Gilberto por su guía y orientación, a todos los docentes que nos apoyaron aun desde los albores de nuestra formación profesional, así mismo al equipo técnico que nos apoyó y a nuestras familias y amistades.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA	12
3.1 Tipo y diseño de investigación	12
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	12
3.3 Escenario de estudio	14
3.4 Participantes	14
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	15
3.6 Procedimientos	15
3.7 Rigor científico	18
3.8 Método de análisis de información	18
3.9 Aspectos éticos	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1 Descriptivos	20
4.2 Tipos de nanomateriales empleados en el tratamiento de aguas	21
4.2.1 Nanomateriales a base de carbono	23
4.2.2 Nanomateriales a base de metales	32
4.2.3 Nanomateriales a base de dendrímeros	40
4.2.4 Nanomateriales mixtos	48
V. CONCLUSIONES	57
VI. RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS	59
ANEXOS	

## Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de categorización	13
Tabla 2 Tipos de nanomateriales	22
Tabla 3 Nanomateriales a base de carbono	26
Tabla 4 Nanomateriales a base de metales	34
Tabla 5 Nanomateriales a base de dendrímeros	43
Tabla 6 Nanomateriales mixtos	51

## Índice de anexos

Anexo 1: Ficha de recolección de datos	65
Anexo 2: Tabla resumen	66

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue identificar cuáles son los avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales en el tratamiento de aguas residuales. Se realizó una revisión sistemática siguiendo la metodología PRISMA con una búsqueda comprendida entre los años 2010 al 2021, de los cuales se seleccionaron 41 artículos científicos que cumplieron con criterios de inclusión y exclusión. Se identificaron cuatro tipos de nanomateriales, los basados en carbono, metálicos, dendrímeros y los mixtos. Como avance se reportó la innovación del nanomaterial magnético a partir de Co, el cual es recuperable y reutilizable. Como ventajas los nanomateriales poseen una gran área superficial y reactividad sobre los agentes compuestos tóxicos, eficiencia de remoción que alcanza el 100 % con nanotubos de carbono. Los nanos derivados de TiO<sub>2</sub>, ZnO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> degradaron contaminantes con eficiencia del 93% en aguas residuales industriales. Se demostró la reutilización de las nanopartículas metálicas Co, TiO, ZnO, FeO y Au, estos son la más abundante y de fácil obtención. Las nanopartículas dendrímeras poseen baja toxicidad. Como desventajas la vida útil de los nanomateriales es corta. Además, se requieren equipos analíticos costosos y un nivel de conocimiento avanzado para los análisis y experimentación con nanomateriales.

**Palabras clave:** Nanomateriales, nanopartículas, nanofibras, aguas residuales.

## ABSTRACT

The objective of the research was to identify the advances, advantages and disadvantages of nanomaterials in wastewater treatment. A systematic review was carried out following the PRISMA methodology with a search ranging from 2010 to 2021, from which 41 scientific articles were selected that met the inclusion and exclusion criteria. Four types of nanomaterials were identified, those based on carbon, metallic, dendrimers and mixed. As progress, the innovation of magnetic nanomaterial from Co, which is recoverable and reusable, was reported. As advantages, nanomaterials have a large surface area and reactivity on toxic compound agents, removal efficiency that reaches 100% with carbon nanotubes. Nanos derived from TiO<sub>2</sub>, ZnO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> degraded pollutants with 93% efficiency in industrial wastewater. The reuse of the metallic nanoparticles Co, TiO, ZnO, FeO and Au was demonstrated, these are the most abundant and easily obtained. Dendrimer nanoparticles have low toxicity. As disadvantages, the useful life of nanomaterials is short. In addition, expensive analytical equipment and an advanced level of knowledge are required for analysis and experimentation with nanomaterials.

**Keywords:** Nanomaterials, nanoparticles, nanofibers, wastewater.

## I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional, así como la expansión urbanística del mundo justifican el consumo y por ende la generación de aguas residuales, a esta problemática se le adicionan los tratamientos de aguas a través de procesos deficientes ya que el porcentaje de aguas tratadas sólo alcanza el 14%, ya que con dificultad se cumplen con las normativas las cuales aseguran el correcto funcionamiento de los procesos aplicados, ante esto los nanomateriales son una tecnología moderna con un potencial de desarrollo casi ilimitado, las diversas fuentes para la obtención de estos se ha investigado en todo el mundo partiendo de los derivados de carbono, elementos metálicos, polímeros así como de la combinación entre estos (Balmi *et al.*, 2018) .

Por otro lado, se ha extraído información acerca de que el 70% de las aguas residuales no son tratadas a nivel mundial, en el Perú existe un porcentaje igual al mundial ya que el 70% de aguas no son tratadas, siendo vertidos en cuerpos de agua dulce y generando impactos y consecuencias negativas en los cuerpos de aguas receptoras (Chen *et al.*, 2015). El recurso hídrico es el recurso más utilizado poblacional y ruralmente para el consumo de la industria, así como para el riego y saneamiento (Balmi *et al.*, 2018); sin embargo, se aportan grandes cargas de contaminantes provenientes de ciudades y de procesos productivos, las poblaciones que generan aguas residuales como consecuencia de actividades ganaderas, actividades de extracción de arena, minerales, agricultura, efluentes de lagunas de oxidación o de cualquier actividad antropogénica que involucre su utilización (Álvarez, 2021). Los nanomateriales pueden desempeñar un rol determinante en el tratamiento de aguas residuales debido a que poseen propiedades con cualidades superiores a los observados en la escala macroscópica, como la mayor área de superficie, la proporción de volumen, efectos cuánticos, oxidación y reducción de compuestos, entre otros (López, 2019).

A pesar de que dos tercios de la superficie de la tierra están cubiertos de agua, solo el 1% es agua dulce, utilizable por humanos, atrapados bajo tierra, ríos y lagos (Zúñiga, 2016). Sin embargo, debido a las numerosas actividades antropogénicas que utilizan aguas subterráneas, como en la agricultura y la industria, la reserva

mundial de agua dulce está disminuyendo muy rápidamente (Álvarez, 2021). Además, debido a la proliferación de la población humana, la urbanización no planificada, la deforestación, el aumento del nivel del mar y el patrón meteorológico impredecible del calentamiento global, esta preciosa fuente de reserva de agua dulce disminuye más rápido de lo que puede reponerse con el ciclo natural del agua. Las aguas residuales, el agua que cambió sus propiedades químicas y físicas, principalmente debido a diversas actividades humanas, se está volviendo más que necesaria para hacer cumplir el reciclaje para restaurar el proceso del ciclo natural del agua (Balmi et al., 2018). Se conocen varios procesos de tratamiento de aguas residuales, desde el sistema primitivo de recolección de aguas residuales y la degradación por agentes químicos y biológicos naturales, hasta el tratamiento de aguas residuales industriales de múltiples etapas más avanzado en un ambiente controlado. Dependiendo del uso de energía y recursos, el volumen del agua y el impacto ambiental del agua tratada y los contaminantes, la mayoría de los métodos convencionales tienen varias limitaciones y aplicabilidad. El proceso moderno de tratamiento de aguas residuales que utiliza nanotecnología, mediante la aplicación de varios nanomateriales y nano absorbentes, es un enfoque muy eficiente, rentable y más ecológico. En este capítulo se han discutido informes sobre los avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales para el tratamiento de aguas residuales municipales y efluentes industriales (petroquímicos, textiles, biomédicos, químicos, etc.) en términos de su efecto ambiental (Álvarez, 2021).

## II. MARCO TEÓRICO

La nanotecnología se desenvuelve como manipulación en una escala atómica o molecular y como método de ingeniería para resolver los diferentes problemas, usando diferentes métodos en aplicación a muchos campos como lo es en su mayoría a la informática, o la medicina, o precisamente el campo ambiental (Taniguchi Norio, 1974).

Es un mundo que nos permite recuperar o trabajar desde niveles superiores muchos problemas planteados, usando nanopartículas que se nos hacen fáciles entrar o manipular cualquier sistema a través de estas nuevas estructuras. Generalmente se estima un rango de dimensión unas partículas en medición de 1 a 100 nm (Morose, 2010).

El proceso de la nanotecnología ha abierto un abanico de oportunidades en la transformación, orientada al cumplimiento de objetivos productivos. Siendo uno de los grandes retos el de producir constantemente procesos productivos que sean amigables con el ambiente y con sus medios que apoyen, facilitando una construcción sostenible económica.

Paralelo a esto, en la actualidad nuestra sociedad seguirá contaminando este ambiente, este accionar pone en riesgo distintos ecosistemas y hasta la salud misma. Entonces, existe la imperiosa necesidad de actuar por el daño ocurrido al ambiente, de limpiar y restaurar los sitios que han sido contaminados.

El desarrollo de los nanomateriales para remediar o mejorar el ambiente es más usado y va creciendo, ya que este se considera como tecnologías emergentes con grandes opciones para enfrentar a la contaminación, ayudando así mismo a descontaminar tanto el agua como el aire (Watlinton, 2005).

El hecho de generar una purificación de aguas contaminadas, se comprende por diferentes procesos realizados por la ingeniería en los que se sometan organismos eliminando bacterias, materiales sujetos a la depuración de aguas residuales, y en el transcurso de estos métodos se tiene como único objetivo obtener un agua que

sea de mayor pureza y hasta calidad consumible en algunos casos, o como en otros descontaminar totalmente el agua para un futuro reúso.

Dada la coyuntura en estos últimos años con respecto a nuestro sistema ambiental, la nanotecnología emerge como una interesante alternativa con respecto a la implementación de sistemas sobre el tratamiento de aguas. El tamaño menor de las nanopartículas y las diferentes características de estos materiales, hacen que el campo en el que nos encontramos sea enorme para el potencial de proyectos que se puede alcanzar a solucionar por estos métodos.

Sin embargo, existen muchas limitantes con respecto al uso de esta desarrollada tecnología, se considera diferentes estudios, y siendo una de las principales dificultades es justamente el tamaño con la que se trabajan. Estos generan dificultad para ser manipulados, y no solo eso, sino que no siempre se fabrica con el suficiente nivel de productividad y fiabilidad, como para el proyecto en la que se emplee (Francesc Pérez Murano, 2013). Al mismo tiempo, su tamaño permite que estas nanopartículas puedan ser transportadas efectivamente a través del agua subterránea (Zhang, 2003).

Entre estos diferentes procesos para una purificación de agua se puede mencionar; cloración, filtración a través de lecho profundo, filtración a través de carbón activado, filtración por cartucho, suavización del agua, ósmosis inversa, rayos de luz ultravioleta, ozonificación del agua. (Kraemer, Choudhury y Kampa, 2001).

Por otro lado, una contaminación hídrica es en su mayoría producto del propio ser humano, que en base a diferentes productos e inconsciencia la vuelve peligrosa para el mismo consumo humano. Puede ser básicamente provocado por la industria, la agricultura, la pesca y las actividades naturales. (Masón, 2002).

En relación a los diferentes factores de contaminantes orgánicos, existe un abanico de posibilidades, un mazo amplio en el que nos podemos encontrar con problemas naturales como actividades agrícolas o domésticas, hasta la misma falta de conciencia ambiental. Residuos de fármacos, productos de cuidado personal, incluso el mismo uso de los plaguicidas, que son productos que valga el epíteto,

contaminan contundentemente el medio ambiente causando muchas alteraciones en el sistema endocrino.

También, es hacedero encontrarnos con una amplia variedad de materiales químicos empleados por una industria; sean diferentes disolventes, plastificantes, colorantes, subproductos de la combustión o cloración, en pocas palabras un mar de contaminantes.

Dentro del problema mencionado existen diferentes tipos de contaminantes, tales como microorganismos patógenos como bacterias, virus, protozoos, en síntesis, organismos microscópicos; los cuales producen expansión entre estos microbios que generalmente llegan al agua por las heces u otros restos orgánicos producidos por las personas, generando alteraciones en los cuerpos de agua (Alberto Moro González, director de AQM Laboratorios, 2011).

Por otro lado, tenemos sustancias químicas inorgánicas; donde se incluyen ácidos, metales tóxicos, que generalmente en cantidades altas suelen ser agresivos ambientalmente en zonas acuáticas en las que se disminuye el rendimiento agrícola, trayendo consigo la extinción del ecosistema.

Nutrientes vegetales; en su mayoría nitratos y fosfatos que como sustancias solubles necesitan de plantas para su mismo desarrollo, encontrándose en una cantidad excesiva demandan un crecimiento innecesario lo cual resulta un peligro para el ecosistema acuático ya que provoca la eutrofización de las aguas.

Y demás factores contaminantes como compuestos inorgánicos; petróleo gasolina; sustancias radioactivas; o contaminación térmica, que dañan el área con temperatura o con químicos complejos para el desarrollo de una vida marina. (Franek et al. 2015).

Existen en la actualidad muchos métodos de tratamiento, desinfección, descontaminación y desalinización de aguas, que suavizan muchos problemas sobre todo en el tema del tratamiento de aguas residuales que son en su mayoría químicos y hasta extensivos energéticamente. Sin embargo, muchos de ellos

demandan ciertas limitaciones como procesos lentos, poca vida activa en el agua, sobre gasto de energías e insumos, entre otros. (Solsona Y Méndez, 2002).

Ante ello, se presenta necesaria una utilización de nanomateriales como gran solución para su uso en gran aporte a diferentes procesos del desarrollo sostenible. Se obtienen grandes cantidades de agua desperdiciadas en actividades como agricultura, industrias que, poniéndose en un balance, apostar por el reúso de estas aguas, sería la mejor opción.

Estos nanomateriales emplean un gran aporte utilitario en este campo sanitario, sus mismas propiedades físicas y químicas suelen diferir de las de otros materiales, se requieren pruebas especiales pre evaluadas para evitar riesgos y aumentar su efectividad. Cubriendo los riesgos salubres de un trabajador común y hasta de los consumidores, como el de posibles riesgos ambientales.

Se estima que, estos nanomateriales, ya sean naturales o fabricados, han demostrado propiedades favorables antimicrobianas; incluyendo quitosano, nanopartículas de plata, fotocatalítica, fullerol, nanotubos de carbono. Estos no son fuertes oxidantes, por lo tanto, inertes ante el agua, entonces no ocurre ninguna desinfección dañina. Teniendo un potencial para reemplazar y potenciar muchos métodos de desinfección comunes y convencionales en tratamientos para puntos de uso y reúso de sistemas (European Commission, 2012).

Se demuestra, la efectividad que estos nanomateriales puedan tener. Ya que permiten retener una mayor tasa de contaminantes. Por otro lado, diferentes nanopartículas se adhieren a otras membranas poliméricas que son las que permite aumentar la permeabilidad de las membranas, mejorando de esta manera su selectividad al conseguir materiales más resistentes al ensuciamiento, reduciendo con esto el consumo de energía (Mulder, 2004). Además, este tipo de nanomateriales presentan una cantidad alta de fotoactividad, en la que destaca las catalíticas de dióxido de titanio, que produce la degradación masiva de contaminantes superiores a los productos catalíticos.

Trabajan como sensores, mantienen propiedades luminiscentes que permiten su uso con sondas ópticas, y presentan mayor sensibilidad que otros sensores. Se

muestra actividades antimicrobianas que son superiores a los desinfectantes comunes, solo presentado en nanopartículas de plata, dióxido de titanio y nanotubos de carbono, como nanomateriales principales; que permiten acabar con variedad de microorganismos no pertenecientes ni deseados en el agua.

Existen varios nanomateriales que demuestran altos índices de capacidad de adsorción, para retirar metales pesados, aceites, disolventes orgánicos y contaminantes emergentes del agua. Que no son detectados normalmente por los tratamientos de agua.

Por su parte Chávez, 2018 en su artículo “Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales”, cuyo objetivo es describir propiedades de los nanomateriales utilizados para desinfección de aguas, en el desarrollo de sistemas de filtración por membrana. Donde concluyen que incorporar estas tecnologías nano en el tratamiento de aguas es una buena alternativa, puesto que no son tóxicas ni causan daños severos en comparación de los tratamientos convencionales, gracias a que sus características químicas no permiten que sean fuertes oxidantes y son inertes en el agua.

Siguiendo con la búsqueda, Yu Yang (2012) en su artículo “Impacto de las nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos en el tratamiento de aguas residuales y la digestión anaeróbica” se propone analizar el destino y los efectos potenciales de cuatro tipos de nanopartículas, nano(AgNP), nano ZnO, nano TiO<sub>2</sub> y hierro nonavalente cero (NZVI), sobre el tratamiento de aguas residuales y la digestión anaeróbica, para lo cual realizaron una revisión exhaustiva de la bibliografía que permitió concluir que los impactos que generan las nanotecnologías estudiadas como agentes antimicrobianos son diversas, debido a sus propiedades como la estabilidad química que cada una posee. Por otro lado se concluye que, AgNP y nano TiO<sub>2</sub> son nanopartículas estables que no tienen efectos adversos sobre los microbios en condiciones anaeróbicas.

Por otro lado contamos con la tesis de Linares y González, 2019, titulada “Optimización de un sistema de filtración con nanomateriales para la mejora de los índices de calidad del agua”, quienes plantearon como objetivos Optimizar un sistema de filtración existente en la Universidad Católica de Colombia mediante el

uso de nanomateriales para mejorar los índices de calidad del agua. Para lograrlo se realizó la síntesis del carbón activado mediante el método ecológico síntesis verde con el fin de impregnar las nanopartículas al carbón activado. Los resultados muestran la ventaja y eficacia de utilizar carbón activado modificado con nanopartículas magnéticas debido a que se tuvo una reducción entre el rango de 65% al 90% en los parámetros de turbiedad, color y sólidos totales, de igual manera los valores del índice de calidad del agua para cada muestra se encuentran en un valor 0,865 lo cual significa que las muestras de agua después de la filtración por el carbón activado con nanopartículas magnéticas son aceptables.

A su vez Davarazar y Mohammadreza, 2021, en su investigación “Nanomateriales de ingeniería para el tratamiento de aguas residuales: Una evaluación cuantitativa”, se planteó el objetivo fue conocer qué país investiga más los nanomateriales y cuales nanomateriales con los más resaltantes, los resultados demostraron que los estudios sobre la utilización de nanomateriales iniciaron en la década de 2000. Se muestra que China e Irán son los países con mayor aporte a nivel científico en este tema, en función a la cantidad de publicaciones, prestando mayor atención y énfasis en los nanomateriales a base de hierro como FeO y FeO<sub>2</sub>, así también las estructuras carbonatadas como las láminas de grafeno, además aún no existen colaboraciones formadas entre investigadores en esta área en todo el mundo, existen puntos críticos de investigación en cuanto a los nanomateriales verdes y sostenibles. El tratamiento de contaminantes con la vía más estudiada ampliamente es la de la absorción emergente.

Por otro lado Wadhawan y Jain (2020), en su investigación titulada “ El rol de los nanomateriales como absorbentes en la eliminación de iones de metales pesados de las aguas residuales”, cuyo objetivo fue determinar el uso de diversos nanomateriales y los factores que afectan en sus aplicaciones, se hallaron los siguientes resultados. Se evaluaron los siguientes nanomateriales basados en metales. El FeO, óxido de hierro monovalente, es estable, tiene mayor área de superficie, no es tóxico. Se sintetizaron nanomateriales a base de hierro a partir de FeCl<sub>3</sub> es efectivo en la eliminación de Cr(VI) con una capacidad máxima de 983,2mg/g ; también alcanzó una capacidad de eliminación del 99% de As(V)..A base de polímeros se obtiene una mayor estabilidad química con alta resistencia

mecánica y biocompatibilidad. Se encontró que las nanopartículas de hierro son un absorbente eficiente de As(V) Los nanomateriales polímeros modificados con hidroxiapatita es eficiente al eliminar Cd(II) y Zn (II) con una alta tendencia a eliminar Ag(II) , Hg(II), Pb(II) Y Cd(II).El nano absorbente obtenido por funcionalización de nanopartículas de FeO<sub>3</sub> con ácido poli acrílico y dietilentriamina son eficientes en la absorción de Cu(II) y Cr (VI) siendo mayor la absorción de Cu. En los carbonosos se fabricaron nanopartículas de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> injertado con ácido acrílico y ácido cítrico los que eliminaron metales pesados como Pb(II),Cu(II) ,Zn, Cd (II).En aguas con Cu se verificó la eliminación de este con un 85% de eficiencia. Se descubrió que el proceso de absorción depende en gran medida del pH del medio para los iones Cu (II) y Cr (VI) basados en la interacción electrostática. A pH superior a 2.0 existe mayor disponibilidad de NH<sub>2</sub> y mayor absorción de iones de Cu (II). La absorción de iones Cr (IV) es decir HCrO<sub>4</sub> fue máxima a pH 2-4, por las atracciones electrostáticas entre HCrO<sub>4</sub> y NH<sub>3</sub>.A pH superiores disminuye el proceso de absorción por la competencia entre HCrO<sub>4</sub> y OH iones. En los nanomateriales compuestos Se sintetizó NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> y se nacionalizaron con una base de salicilaldehído y aminopropil trietoxisilano, se eliminó por absorción Ni (I) de una solución acuosa con una eficiencia de absorción del 95% de iones del metal. Además, se analizó el impacto del pH de las soluciones, la dosis de adsorbente y la temperatura, tras lo cual se demostró que al aumentar el pH de 2.0 a 5.0, aumenta la eliminación por adsorción de iones Hg (II). A pH bajo, las repulsiones electrostáticas entre los restos protonados y los cationes metálicos genera menor absorción. El pH moderado favorece la absorción de iones pesados. La absorción de Pb (II) y Cu (II) en la superficie de nano fibras de quitosano de TiO<sub>2</sub> alcanzó valores máximos de pH 6.0, y fueron los más bajos de pH 2.0 a 4.0.A un pH de 6.0 la absorción de Cd (II) aumento y se volvió constante con un 97% a pH 9.0.A un pH de 11.0 la absorción disminuye al 80%.

Finalmente, Yin y Cui, 2019 en su trabajo titulado “La aplicación de nanomateriales carbonosos en el tratamiento de aguas residuales”, tuvo como objetivo describir y resumir los mecanismos de absorción de nanomateriales en función a la superficie de estos basados en carbono a nivel atómico y molecular. Se obtuvieron como resultados que los nanotubos pueden proporcionar una superficie de interacción

muy grande con el óxido de aluminio en comparación con las partículas de carbón activado grandes.

La justificación de esta investigación es de carácter teórico ya que aporta con conocimiento sobre los tipos de nanomateriales y sus aplicaciones en la ingeniería, sobre los avances que existen hoy en día en contraste con años anteriores, su clasificación y algunas de las propiedades que se explican de forma clara y breve sin dejar de lado la objetividad, se busca dar a conocer acerca de cómo el uso de esta tecnología en desarrollo permite tratar cuerpos de agua de diferentes usos como lo es el doméstico e industrial, se proponen nuevas alternativas de materiales con menos toxicidad y con grados de eficiencia mucho más elevados, se dan a conocer alternativas que se pueden emplear en las distintas industrias por las compañías o empresas que se dedican a este rubro y se presenta una gran cantidad de artículos científicos indexados.

Se justifica económicamente por que presenta métodos que no requieren de una elevada sofisticación para producir o sintetizar nanomateriales, también se exponen opciones de utilización de nanomateriales con demandas accesibles de recursos económicos, ya que en la actualidad han variado los costos debido a la investigación y el desarrollo de esta alternativa sustentable, ya que posterior al proceso de tratamiento puede reducir sus gastos al ser reutilizables en algunos casos.

Tiene una importancia social, puesto que a nivel mundial la humanidad se enfrenta a la escasez de agua de buena calidad, la cual se ha visto impactada por la actividad antropogénica y los sistemas de tratamiento de aguas residuales tienen ciertas limitaciones. En el Perú encontramos un sin número de plantas de tratamiento de agua residual que no funcionan de forma correcta; que han sido sobredimensionadas y que no son eficientes. Es por ello, que esta revisión pretende mostrar los avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales aplicados al tratamiento de aguas residuales, con el fin de presentarlos como una alternativa para la mejora de los tratamientos convencionales.

Ante lo expuesto anteriormente se formula la pregunta, ¿Cuáles son los avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales en el tratamiento de aguas

residuales?.En este sentido la presente revisión sistemática de literatura tiene como objetivo identificar cuáles son los avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales en el tratamiento de aguas residuales. Como objetivos específicos identificar cuáles son los avances ventajas y desventajas de los nanomateriales basados en carbono en el tratamiento de aguas residuales, cuáles son los avances ventajas y desventajas de los nanomateriales basados en metales en el tratamiento de aguas residuales, cuáles son los avances ventajas y desventajas de los nanomateriales basados en dendrímeros en el tratamiento de aguas residuales y cuáles son los avances ventajas y desventajas de los nanomateriales mixtos en el tratamiento de aguas residuales.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

Esta investigación es de tipo básica, ya que se encarga de la recolección de información de manera sistemática, basada en el análisis de los datos recolectados, que permitan desarrollar progresivamente los objetivos planteados (Tan, Vera y Oliveros, 2008).

El diseño de la investigación es no experimental, ya que solo se efectuará un trabajo de observación y análisis de la realidad problemática, pues no se manipuló ninguna variable (Cortez e Iglesias, 2004).

#### **3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística**

A continuación, se presenta la matriz de categorización apriorística incluyendo las categorías y subcategorías con respecto al tema de estudio, en la cual se presenta en la tabla 1.

Tabla 1: Matriz de categorización

Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6	Criterio 7	Criterio 8	Criterio 9
NANOMATERIALES	Carbono	Nombre del nanomaterial	Tecnología	Tipo de agua residual	Eficiencia	Avances	Ventajas	Desventajas	País	Año
	Metales									
	Dendrímeros									
	Compuestos									

### **3.3 Escenario**

En el presente trabajo de investigación se tuvo como escenario de estudio toda investigación de los diferentes países que hayan realizado investigaciones sobre los nanomateriales utilizados en el tratamiento de aguas residuales, estos estudios serán descriptivos y experimentales, mediante el cual se realizará un listado de los diferentes nanomateriales de acuerdo al tipo de tecnología utilizado, la eficiencia que estos presentan, los avances, ventajas y desventajas presentes en los distintos procesos. (Lin *et al.* 2012).

### **3.4 Participantes**

Los participantes en esta revisión sistemática están constituidos por artículos de revistas indexadas, los cuales fueron extraídos de base de datos como: Scopus, Science direct, Scielo, PubMed, Taylor & Francis y EBSCO, se abordan los estudios que traten sobre la importancia que tienen los nanomateriales usados en el tratamiento de aguas residuales, tomando en cuenta estudios de caracterización, diagnóstico y de carácter analítico. Se tomaron en cuenta criterios de inclusión al abordar artículos de investigación como revisiones científicas, investigaciones observacionales, estudios analíticos, estudios de casos y controles, artículos científicos, técnicos verídicos, publicados en bases de datos científicas, indexadas para acceder al documento completo en formato digital, en el idioma inglés, comprendidos entre los años 2010 al 2021, que abordan los avances, ventajas y desventajas del uso de los nanomateriales en el tratamiento de aguas residuales. Y como criterios de exclusión se rechazaron los estudios de opinión, estudios descriptivos, transversales, revisiones narrativas, casos clínicos y que no cuenten con resultados cuantitativos, así como estudios realizados años anteriores al 2010 y aquellos en los cuales no se analicen los nanomateriales utilizados en el tratamiento de aguas residuales. Para ello se utilizará como base de datos Scopus, Science direct, Scielo, PubMed, Taylor & Francis y EBSCO, porque al realizar revisiones de fuentes confiables con un amplio recorrido, y con los criterios mencionados anteriormente, esta investigación será capaz de presentar de forma objetiva clara y precisa evidencias y resultados cuantitativos de enorme valor para la comunidad científica e investigadores en general (Corral 2016).

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica aplicada en esta investigación fue el análisis documental, puesto que se necesita efectuar la búsqueda especializada de diferentes fuentes primarias, seleccionando y organizando la información para estructurar la base de datos a analizar, y de este modo dar respuesta a las preguntas propuestas en la investigación.

El instrumento de recolección de datos fue la ficha de recolección de datos en la cual se registró y organizó la documentación recopilada de los documentos más relevantes (Blass, 2019). Las cuales fueron elaboradas tomando en cuenta los objetivos, dimensiones y criterios de la matriz apriorística. Esta ficha estuvo conformada por el título de investigación, año, autor, tipo de nanomaterial, tipo de tecnología empleada en el proceso, eficiencia, avance, ventajas, desventajas y año de publicación.

### **3.6 Procedimiento**

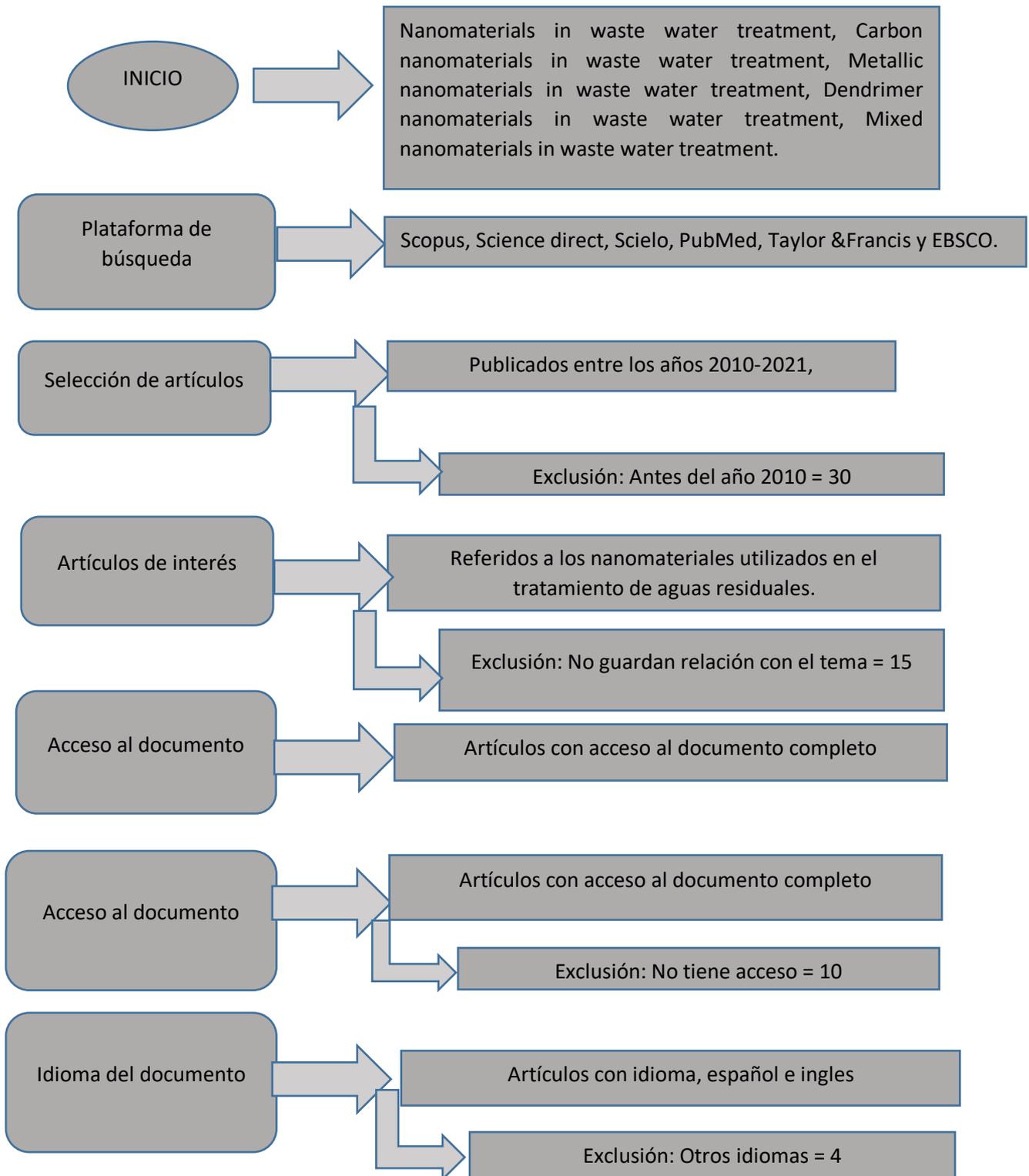
Se desarrolló una revisión sistemática de literatura científica usando la metodología PRISMA [Patient, Intervention, Comparison, Outcome] y, mediante esta, se formuló la pregunta de investigación (Santos et al., 2007) que servirá de guía: ¿Cuáles son los avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales usados en el tratamiento de aguas residuales?

La técnica empleada en esta investigación es la revisión sistemática o documental, por ello se basará en estudios de otros autores, similar al tema que se está tratando. Según Corral (2016). Para un análisis se accede al estudio de un documento, independientemente de su soporte (audiovisual, electrónico, papel, etc.). Para esto se lleva un registro que a su vez contiene los datos de la descripción bibliográfica, los cuales son puntos de acceso obtenidos en la catalogación y ubicación donde indique el lugar físico de procedencia en el cual esté ubicado el documento.

El instrumento empleado es la matriz bibliográfica. Según Salatino (2016). Los instrumentos se plasmaron por escrito con la información más pertinente e importante, para luego realizar un proceso de búsqueda de información y el

posterior procesamiento y análisis bibliométrico. Y organizar dicha información de esta forma, con ello es más fácil la unión de las ideas sobre un tema y tener por resultado el encontrarlo con mayor precisión en un menor tiempo.

### Matriz del análisis



Para afianzar la sensibilidad de la búsqueda se establecieron como descriptores los siguientes términos o palabras clave: “Nanomaterials”, “treatment”, “waste”, “water”, “advantages”, “disadvantages”, “Improvements”, “advances”, “Metallic”, “carbón”, “dendrimer”, “mixed”. Por especificidad de la pesquisa de la literatura científica, se diseñó la siguiente combinación de los términos establecidos y los operadores booleanos: (“Nanomaterials” AND “waste” AND “water” AND “treatment”), (“Nanomaterials” AND “Metallic” AND “waste” AND “water” AND “treatment”), (“Nanomaterials” AND “carbon” AND “waste” AND “water” AND “treatment”), (“Dendrimer” AND “waste” AND “water” AND “treatment”), (“mixed” AND “Nanomaterials” AND “waste” AND “water” AND “treatment”).

Asimismo, se abordan los estudios que traten sobre la importancia que tienen los nanomateriales usados en el tratamiento de aguas residuales, tomando en cuenta estudios de caracterización, diagnóstico y de carácter analítico. Se tomaron en cuenta criterios de inclusión al abordar artículos de investigación como revisiones científicas, investigaciones observacionales, estudios analíticos, estudios de casos y controles, artículos científicos, técnicos verídicos, publicados en bases de datos científicas, indexadas para acceder al documento completo en formato digital, en el idioma inglés, comprendidos entre los años 2010 al 2021, que abordan los avances, ventajas y desventajas del uso de los nanomateriales en el tratamiento de aguas residuales. Y como criterios de exclusión se rechazaron los estudios de opinión, estudios descriptivos, transversales, revisiones narrativas, casos clínicos y que no cuenten con resultados cuantitativos, así como estudios realizados años anteriores al 2010 y aquellos en los cuales no se analicen los nanomateriales utilizados en el tratamiento de aguas residuales. Para ello se utilizará como base de datos Scopus, Science direct, Scielo, PubMed, Taylor & Francis y EBSCO, porque al realizar revisiones de fuentes confiables con un amplio recorrido, y con los criterios mencionados anteriormente, esta investigación será capaz de presentar de forma objetiva clara y precisa evidencias y resultados cuantitativos de enorme valor para la comunidad científica e investigadores en general.

### **3.7 Rigor científico**

Esta investigación al ser de carácter cualitativa requiere rigor científico para tener un sentido claro de validez y confiabilidad, así como objetividad, ya que para ello el investigador debe de escrutar la información científica extraída de cada artículo académico (Arias et al. ,2021).En ese sentido, se utiliza una matriz de categorización para estructurar la información de manera ordenada, lógica y analizable, basada en fuentes totalmente confiables, la cual garantiza que los datos sean procesados correctamente para una buena interpretación de resultados.

#### La dependencia

Los resultados son afianzados y fortalecidos por la dependencia que se refiere al grado o nivel de resultados que alcanzan dos investigadores diferentes empleando el mismo análisis, existen dos clases, uno en el que se obtiene resultados similares con datos propios y el segundo que permite obtener resultados similares con datos de otro autor (Salgado,2017).

#### La credibilidad

Consiste en demostrar y reconocer los hallazgos de una investigación como reales o verdaderos, esto se sustenta por los resultados de características cuantitativas y experimentales (Castillo et al., 2015). Se busca obtener datos relativos a categorías observables y verificables y se indica que estas necesitan operativizar a través de la recolección de datos (Martínez, 2016).

### **3.8 Método de análisis de datos**

Para el análisis de la investigación se recolectó información de fuentes como Scopus, Science direct, Scielo, PubMed, Taylor &Francis y EBSCO, en segundo lugar, se fijaron las categorías, nanomateriales a base carbono, nanomateriales a base de metales, nanomateriales a base polímeros o dendrímeros y nanomateriales mixtos o compuestos.

Se analizó la categoría nanomateriales a base de carbono buscando conocer el tipo de nanomaterial obtenido a partir de carbono, la tecnología empleada, el tipo de agua residual en el cual se utilizó dicho nanomaterial, la eficiencia de remoción, los avances, las ventajas y desventajas.

Se procedió de la misma forma para las categorías, nanomateriales a base de metales, nanomateriales a base polímeros o dendrímeros y nanomateriales mixtos o compuestos. Se analizaron el tipo de nanomaterial obtenido, la tecnología empleada, el tipo de agua residual en el cual se utilizó dicho nanomaterial, la eficiencia de remoción, los avances, las ventajas y desventajas (Castillo *et al.*, 2015).

### **3.9 Aspectos éticos**

Esta revisión considera los siguientes aspectos éticos basados en los principios de veracidad, responsabilidad y honestidad, se realizó de manera responsable cada acción establecida, tal como se puede apreciar en el estudio se ha asegurado la corroboración de que la información presentada cuente con la suficiente confiabilidad y viabilidad en los diversos trabajos de investigación que se citarán, respetando los aportes de los autores e investigadores. Las citas de las fuentes consultadas fueron utilizadas correctamente según lo requerido por la Resolución del Consejo Universitario No. 0262-2020 / UCV promulgada el 28 de agosto de 2020.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos producto de la revisión sistemática de la literatura científica, con la finalidad de responder a la pregunta de investigación ¿Cuáles son los avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales en el tratamiento de aguas residuales?

En resumen, se encontró que sobre las ventajas y desventajas de los nanomateriales que estos incurren en el tratamiento de aguas residuales y que tienen diferentes orígenes tanto naturales como antropogénicos.

Según los autores indexados manifestaron que los nanomateriales más resaltantes son los derivados de carbono como nanotubos, fulerenos y grafenos, en cuanto a los dendrímeros resaltan los PAMAM, los derivados de las nanofibras metálicas como las provenientes de nanopartículas de Zn y Al, siendo estos utilizados como adsorbentes, degradantes, catalizadores y removedores con ventajas de eficiente tratamiento de aguas residuales.

### **4.1 Descriptivos**

Se revisó de forma sistemática empleando la adaptación de metodología PRISMA, criterios de inclusión y exclusión, donde se tomaron en cuenta artículos publicados en bases de datos científicas indexadas para acceder al documento completo en formato digital, en idioma inglés y español comprendido temas que aborden los factores más influyentes en los nanomateriales utilizados en el tratamiento de aguas residuales. Asimismo, estos deben ser de carácter experimental, más no de opinión y, además, que cuenten con una intervención de estudios analíticos, para ello se utilizará como bases de datos Scopus, Science direct, Scielo, Pubmed y EBSCO, con la finalidad de describir los principales avances, las ventajas y desventajas presentes en el proceso, con el fin de mejorar el tratamiento del recurso hídrico. En la búsqueda de artículos de las bases de datos empleadas y conforme a los criterios de búsqueda, inclusión y exclusión, se obtuvo un total de 100 resultados, en el intervalo de 2010 al 2021, siendo 28 en Scopus ,30 artículos en Science Direct ,30 en Scielo, y 12 artículos en Taylor & Francis Online. De acuerdo a lo obtenido se procedió a descartar documentos que no guardaban relación con

la temática de estudio u objetivo, además de artículos repetidos, hasta la obtención de 41 artículos (ver anexo 2) que figuran como resultados que se clasificaron en 4 tablas, 12 en la Tabla 3, 10 en la Tabla 4, 11 en la Tabla 5 y 8 en la Tabla 6, por tipos de nanomateriales, por la tecnología aplicada, tipo de agua residual, eficiencia, avances, ventajas, desventajas, año de publicación y país.

#### **4.2 Tipos de nanomateriales empleados en el tratamiento de aguas residuales**

A través de la búsqueda en la revisión de la literatura se identificaron cuatro tipos de nanomateriales empleados para el tratamiento de aguas residuales, estos nanomateriales son: nanomateriales a base de carbono, nanomateriales a base de metales, nanomateriales a base de dendrímeros, nanomateriales a base de compuestos o mixtos. (Alvarado, *et al.*, 2018; Melki, *et al.*, 2019)

Las definiciones correspondientes de cada nanomaterial figuran en la tabla 1. Al respecto, la mayor evidencia encontrada, corresponde al tipo de nanomaterial de tipo polimérico o dendrímeros, donde 14 artículos que corresponden al 30%, están representados por investigaciones que apuntan a utilizar este tipo de nanomateriales. Le siguen muy de cerca los nanomateriales mixtos y los de fuente de carbono, tal vez porque estos últimos fueron los primeros en utilizarse a nivel nano (Andrade, 2012).

Respecto a los periodos en los que se estudian estos materiales abarcan del año 2010 hasta la actualidad, siendo los más antiguos los de carbono según el reporte. A partir de los tipos de nanomateriales, se reportan a continuación los avances, ventajas y desventajas de cada uno de ellos, respecto a su utilización en el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2: Definición de los tipos de nanomateriales

TIPOS DE NANOMATERIALES						
N°	Tipos	Definición	Cant. Artículos	Periodo	País	Referencia
1	Nanomateriales a base de carbono	A base de carbono: Han demostrado ser muy eficaces para eliminar patógenos bacterianos. Los nanomateriales a base de carbono se han utilizado para eliminar impurezas biológicas han recibido especial atención por su excelente capacidad para eliminar contaminantes biológicos del agua (Alazba,2014)	12	2010-2019	México, Brasil, China, Irán, Egipto, Malasia, India, EE.UU	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lariza et al. (2019)</li> <li>- Duart (2021)</li> <li>- Jialing et al (2021)</li> <li>- Tang et al. (2020)</li> <li>- Vahid et al. (2019)</li> <li>- Elkodous et al (2021)</li> <li>- Thai et al (2010)</li> <li>- Weng et al (2021)</li> <li>- Kumar (2019)</li> <li>- Abouzeid et al. (2019)</li> <li>- Wells et al. (2015)</li> <li>- Wang et al. (2017)</li> </ul>
2	Nanomateriales a base de metales	Incluyen puntos cuánticos, nanopartículas de oro y plata y óxidos metálicos. Como este níquel nanoestructurado patentado recientemente.(Alazba,2014)	9	2015-2021	Egipto, Corea del Sur, EE.UU, Turquía, Brasil, China	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patricia et alt. (2019)</li> <li>- Kanjwal et alt. (2019)</li> <li>- Yang et al. (2012)</li> <li>- O'Brien et al. (2010)</li> <li>- Markus et al. (2015)</li> <li>- Thabet et al. (2015)</li> <li>- Ismael et al. (2019)</li> <li>- Vera et al. (2018)</li> <li>- Pauling et al. (2019)</li> </ul>
3	Nanomateriales a base de dendrímeros	Básicamente polímeros de tamaño nanométrico.(Alazba,2014) Los dendrímeros son una clase interesante de moléculas sintéticas y se utilizan en varias aplicaciones debido a su funcionalización superficial, su alta estabilidad hidrofília, tamaño y estructura sintonizables, tanto química como	11	2016-2020	Portugal, Irán, México, China	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Castro et al. (2020)</li> <li>- Leudjo et al. (2020)</li> <li>- Ghasemzadeh et al. (2014)</li> <li>- Vunain et al. (2016)</li> <li>- Rajesh et al. (2014)</li> <li>- Viltres et al. (2019)</li> <li>- Raval et al. (2010)</li> <li>- Vatanpour et al. (2020)</li> <li>- Diallo (2014)</li> <li>- Tyagi et al. (2014)</li> <li>- Gopalakrishnan et al.</li> </ul>

		mecánicamente (Vatansever, 2019)				(2018) - Jiryaei et al.(2017) - Arshadi et al. (2010) - Hagga et al. (2020) - Fawal et el. (2020) - Bigogno et al. (2021) - Alam et al. (2015) - Schlich et al. (2018) - Cai et al. (2017) - A Al-Rub et al. (2020) - Hammad et al. (2020)
4	Nanomateriales compuestos	Aquellos en los que se hacen combinaciones de nanopartículas con otras nanopartículas o con materiales de mayor tamaño.(Alazba,2014)	11	2016-2021	Turquía ,India ,Irán ,Egipto , Brasil , Arabia Saudita , Jordania	

#### 4.2.1 Nanomateriales a base de carbono

Los tipos de nanomateriales usados para el tratamiento de aguas residuales son variados y en la mayoría de investigaciones utilizan sistemas híbridos, es decir, que usan dos tipos de materiales, donde el de propiedades manométricas, es utilizado como mejorador de un sistema convencional, Song, *et al.* (2020). Sin embargo, los nanotubos de carbono han sido los más usados, dentro de los cuales el de pared múltiple son los más investigados debido a sus interacciones con el adsorbente, su alta flexibilidad, su peso ligero, su estabilidad térmica, química y mecánica, Moustafa et al. (2017), seguidos de las nanocelulosas y finalmente los nanocompuestos de grafeno, Selvamani y Gomathi, (2013).

Asimismo, la tecnología que ha despertado mayor interés son las membranas, continuadores de los filtros y catalizadores. Al respecto la industria que registra el mayor uso de los nanomateriales para el tratamiento de sus aguas residuales, es la industria textil, quien ha visto en esta tecnología resultados muy satisfactorios para la remoción de sus efluentes. (Vatanpour y Haghighat, 2019, Abd, *et al.* 2019).

En cuanto a la eficiencia de esta nanotecnología, su rendimiento es prometedor en todos los tipos de nanomateriales. Sin embargo, la que más destaca son las membranas fabricadas a base nanotubos de carbono y fluoruro de polivinilideno-co-hexafluoropropileno (PcH), Song, *Et al.* (2020) con una eficiencia de remoción de colorantes, sales y mejora de permeabilidad del 99,91%, 99.99 y 100%, respectivamente. Seguido de las membranas a base de nanotubos de carbono, con

un rendimiento del 90%. No obstante, las membranas de nanotubos de carbono de paredes múltiples modificados con trietilentetramina (TETA), mostraron un incremento en el rechazo de colorantes en comparación de la membrana sin el nanotubo, con un 86%, sin embargo, es un porcentaje menor comparado con los anteriores, pese a que la hidrofilia de la membrana mejoró con los nanotubos de carbono, lo cual se atribuye a que el polímero principal de la membrana es de PVC, que se caracteriza por tener naturaleza hidrofóbica reduciendo la eficiencia, Vatanpour, *et al.* (2019).

Los avances presentados en la última década es la tecnología de electrohilado para el tratamiento de aguas residuales salinas y tintóreas, la cual consiste en una forma sencilla de producir nanofibras a base de nanotubos de carbono bajo un campo magnético, teniendo la propiedad de crear membranas porosas que facilitan la permeabilidad de las membranas, mejorando los flujos de aguas. Otros avances que se muestra son los, que funcionan como sensores selectivos para detectar los contaminantes en las soluciones acuosas y Los nanotubos de carbono magnéticos quienes tienen la propiedad de dispersarse en el agua, lo que hace que sean fáciles de separar o regenerar del medio tras el tratamiento de los residuos utilizando un imán. Así, pueden reutilizarse varias veces; además ayudan a eliminar una variedad de contaminantes del agua, como residuos de petróleo, sulfato, colorante (azul de metileno, naranja de metilo, cristal violeta, verde janus B) tiazina, tolueno, etilbenceno, xileno, Zn, Pb (II), Cu (II), etc. (Vatanpour y Haghghat, 2019 y Song, *Et al.* 2020).

Por otro lado, las ventajas más sobresalientes de los nanomateriales a base de carbono son su capacidad de hidrofiliidad, estabilidad química, mecánica y eléctrica, así como por su alta permeabilidad y amplia área superficial que permite mayor eficiencia en la adsorción. Otro factor que favorece su aplicación es su baja toxicidad tanto para la salud humana como para otros seres vivos. Asimismo, los tratamientos de aguas residuales a base de nanomateriales de carbono, son reconocidos por su gran capacidad de eliminación microbiana, especialmente patógenos, como la *E.Coli*. Kong (2020).

Pese a las grandes ventajas que los nanomateriales de carbono nos muestran, estos presentan dificultades que reducen su grado de eficiencia, los más comunes se deben a los elevados costos que estos representan para llevarlos a una escala mayor, lo cual

resulta un limitante para los inversionistas de la época. Por otro lado, los autores también destacan el prolongado tiempo de filtración y el ensuciamiento de las membranas que provocan encrustamientos, reduciendo los flujos. (Vatanpour y Haghighat, 2019, Abd, *et al.* 2019, Rajesh, Selvamani y Gomathi, 2013).

En consecuencia, en la bibliografía revisada, los autores resaltan más los beneficios que trae el uso de estas nuevas tecnologías a base de nanomateriales, que, al compararlos con las desventajas, por lo tanto, abren una gran posibilidad de aplicación.

Tabla 3: Avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales a base de Carbono

N°	Tipo de nanomaterial/ Nombre	Tecnología	Tipo de agua residual	Eficiencia	Avances	Ventajas	Desventajas	País	Año
1	*(SWCNT's) *(MWCNT's)	*Filtros de SWCNTs y MWCNT's *Filtro electroquímico a base de MWCNT's *Nanopartículas metálicas	aguas residuales domésticas	75% y 97%	Recientemente, se ha reportado la funcionalización de nanotubos mediante plasma, mostrando ventajas en comparación con el tratamiento químico, ya que la superficie del nanotubo se modifica fácilmente	*Muestran una interesante combinación de propiedades debido a su estructura, las dimensiones, estabilidad química, mecánica y eléctrica. *Inactivación de microorganismos	*Poca dispersión, que dificulta la interacción con moléculas biológicas *Pobre solubilidad en agua y su toxicidad	México	2015
2	Nanotubos de carbono (CNT) y fluoruro de polivinilideno-co-hexafluoropropileno (PCH)	*Membranas de nanofibras por electrohilado	Aguas residuales de teñido	100%. 99,41% y 99,91%.	No menciona	*Alta permeabilidad y difícil humectación *Facilidad de los NTC para mezclarse con las nanofibras	No menciona	China	2021
3	Nano hojas de gC 3 N 4 y nanotubos de TiO2	Malla de nanotubos de TiO2 implantados con nano hojas de g-C3N4	Aguas residuales orgánicas refractarios	0.93	No menciona	Los productos de degradación formados son de baja toxicidad.	No hay muchos estudios en temas similares, ni del grado de toxicidad	China	2020

4	nanotubos de carbono de paredes múltiples modificados con trietilentetramina (TETA)	Membranas de nanofiltración de cloruro de polivinilo (PVC)	aguas residuales colorantes	62,2% a 76,1%.	No menciona	*Permite el bloqueo de los poros de la membrana y reduciendo el flujo de .colorantes * Mejora de la hidrofiliidad	El tiempo de filtración es lento.	Iran	2019
5	Nanotubos de Carbono	Absorbente	Aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas	No mención a	Para aplicaciones a gran escala, la producción continua de CNT a partir de fuentes de bajo costo ha dado un paso más para superar el problema del alto costo de síntesis.	Tiene mayor capacidad de adsorción hacia compuestos no polares como los hidrocarburos aromáticos polícíclicos sirven como absorbentes, nanofiltros y agentes antimicrobianos	*El alto costo es el principal problema que bloquean la aplicación de CNT a mayor escala.	Malasia	2010
6	esqueletos de grafeno tridimensional es o nanomateriales basados en grafeno	Los adsorbentes porosos tridimensionales (3D)	Aguas residuales aceitosas	Alta	Microestructuras de espumas de grafeno 3D y espumas basadas en grafeno 3D y destaca su rendimiento de adsorción de aceites y disolventes orgánicos	Gran área de superficie, alta porosidad, baja densidad, alta estabilidad química / térmica y propiedades mecánicas estables, que permiten diferentes contaminantes para acceder fácilmente y difundir en redes 3D de adsorbentes.	No menciona	China	2021

7	nanomateriales biogénicos	Adsorbentes	aguas potables y residuales	No menciona	<p>*Nuevas tendencias que implican el desarrollo de adsorbentes y catalizadores a nano escala bioinspirados para la eliminación y degradación de una amplia gama de contaminantes del agua. Los carbohidratos, proteínas, polímeros, flavonoides, alcaloides y varios antioxidantes obtenidos de plantas, bacterias, hongos y algas han demostrado su eficacia como agentes de cobertura y estabilización durante la fabricación de nanomateriales.</p>	Alta superficie y propiedades mecánicas, mayor reactividad química, menor costo y energía, regeneración eficiente para su reutilización	las rutas convencionales de síntesis de nanomateriales abarcan la participación de sustancias químicas peligrosas y volátiles	India	2019
8	nanomateriales de celulosa	adsorbente y membrana	aguas residuales	Es muy prometedor	No menciona	alta relación de aspecto, alta superficie específica, alta capacidad de retención, ampliamente disponible, se requiere bajo consumo de energía en la fabricación	Elevados costos de producción	Egipto	2019

9	Nanotubos de carbono	membranas nanocompuestas	Aguas residuales domésticas	80-90%	Otro material que se ha aplicado como relleno en membranas de nanocompuestos es el dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	*Extraordinarias propiedades eléctricas, mecánicas, térmicas y a su actividad antibacteriana parcial *los CNT pueden modificar las propiedades físico-químicas de las membranas, lo que fomenta su potencialidad para diversas aplicaciones	Poca resistencia al ensuciamiento, siendo este factor, el principal factor limitante en aplicaciones a gran escala	Republica Checa	2020
10	nanomateriales de celulosa	membranas para la filtración	aguas residuales industriales	Tienen gran potencia   sin explotar en las tecnologías de tratamiento de agua	No menciona	Tiene alta relación de superficie a volumen, bajo impacto ambiental, alta resistencia, funcionalidad y sostenibilidad	No es aplicable para gran escala	EE.UU	2015
11	nanocompuestos de grafeno C <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Catalizadores híbridos	aguas residuales de antibióticos	Presenta un excelente rendimiento catalítico o tipo	Hasta la fecha, se han desarrollado numerosas estrategias como el dopaje con heteroátomos y la carga de algunos cocatalizadores para solucionar los inconvenientes intrínsecos	*El nitruro de carbono grafítico (g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ), es un nuevo material catalítico libre de metales y de luz visible, ha mostrado de la energía, el almacenamiento y la recuperación del medio	Se ha demostrado que el MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> solo, es fotocatalítico inactivo	China	2017

Fenton en la degradación de varios antibióticos del g-C3N4. Otra medida factible para mejorar su actividad fotocatalítica es formar un foto catalizador híbrido con otro semiconductor mediante el diseño de una textura porosa adecuada.

ambiente gracias a sus interesantes características, como la ecología y la estabilidad. características interesantes, como su carácter ecológico, su estabilidad fiable

Los dendrímeros PAMAM modificados con diferentes grupos terminales, como el grafeno

12	dendrímeros de poliamidoamina (PAMAM-G5)	Filtros	Aguas residuales textiles	88,92%	15 óxido de grafeno (GO), hoja de grafeno (GS), NH <sub>2</sub> , COO- y OH, está aumentando en los estudios medioambientales	No menciona	hay muy pocas aplicaciones en el campo del medio ambiente	Brasil	2018
----	--	---------	---------------------------	--------	--	-------------	---	--------	------

En esta investigación al conocer las ventajas de los nanomateriales en el tratamiento de aguas residuales, se pudo encontrar que los nanomateriales en base de carbono se ven favorecidos por sus propiedades físicas y químicas especialmente por la hidrofiliidad, alta permeabilidad, mejora de superficie específica y fácil modificación de la superficie de los nanotubos de carbono, (Song, *et al.* 2020, Vatanpour y Haghghat, 2019, Abd, *et al.* 2019, Rajesh, Selvamani y Gomathi, 2013). Estos beneficios han mejorado notablemente los resultados de eficiencia tanto en remoción de colorantes, sales y mejora de permeabilidad, donde el porcentaje mínimo que se muestra es de 62.2% y alcanza un máximo de 100%. Esto quiere decir, que la gama de ventajas mostradas promete una mejora en el mundo de los tratamientos de aguas residuales, ya que permite que los tratamientos convencionales ofrezcan mejores resultados, gracias a la funcionalización química que le aportan una amplia eficiencia. Esto se atribuye a que los nanotubos de carbono funcionalizados con grupos funcionales como los -COOH, -OH o NH<sub>2</sub> modifican sus propiedades de las superficies externas del material, lo cual le aporta la capacidad de adsorción y selectividad del nanotubo (Vatanpour y Haghghat, 2019). En relación a la funcionalización, los estudios demuestran que los grupos funcionales más efectivos en nanotubos de carbono son los grupos aminos en comparación con los ésteres (Song, *et al.* 2020).

Por su parte la hidrofobicidad de los nanotubos de carbonos, respaldada por (Andrade, 2012), en su experimento con el uso de membranas, donde menciona que los nanotubos de carbono, minimizaron el ángulo de contacto de las moléculas de agua y la superficie de las membranas, de 135.9° a 123°, lo cual según Gonzáles, (2016), menciona que en el caso de que las fuerzas de atracción sean muy bajas la superficie tenderá a 'repeler' el líquido y el ángulo será mayor de 90°, en el caso del agua se le llama hidrófobas; por su parte Vatanpour y Haghghat (2019) tuvo los mismos resultados, puesto que las propiedades naturales de impureza del nanotubo de carbono, disminuyó la hidrofobicidad de la membrana. Este fenómeno se debió a que el polímero principal de la membrana era de PVC, mismo que por su naturaleza hidrofóbica (PVC).

Por otro lado, con el objetivo de establecer las desventajas de los nanomateriales en el tratamiento de las aguas residuales, se encontró que estos provocan el ensuciamiento de las membranas, esto quiere decir que al incorporar los materiales de nana escala a base de carbono, genera incrustamientos en los poros, reduciendo los flujos de agua, por la escasa permeabilidad. lo cual es explicado por Vatanpour y Haghghat, 2019 que este fenómeno se debe a que los materiales de carbono en bruto son impuros a efecto de algunos residuos producto del proceso de síntesis, por lo que Andrade, 2012 recomienda purificarlos antes de funcional izarlos para evitar estas desventajas.

#### **4.2.2 Nanomateriales a base de metales**

Los tipos de nanomateriales metálicos más utilizados en el tratamiento de aguas residuales en la última década son las nanofibras de NiO, ZnO, AgO y TiO<sub>2</sub>, así como nanomateriales más elementales a partir de los cuales se obtienen dichas nanofibras, se hallaron las nano partículas de Ni, Zn, Ag, ZnO, TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>, Fe, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Co y Au (Leles, 2109; Kanjwal, 2020; Yu Yang, 2018; Joseph, 2018;Parsons, 2015; Tolaymatha, 2015; Alves, 2019). El 90% de los artículos indexados estudian a los nanocompuestos derivados de nanopartículas de AlZnO, ZnO, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> (Leles, 2109; Kanjwal, 2020; Yu Yang, 2018; Joseph, 2018;Parsons, 2015; Tolaymatha, 2015; Alves, 2019) .El país donde se ha investigado más en los últimos 10 años es la India representando el 40 % de todas las revisiones (Yu Yang, 2012; Joseph, 2010; Tolaymata, 2019; Santos, 2019).

Las tecnologías más utilizadas en los procesos de purificación y descontaminación de cuerpos de aguas son las nanopartículas de Ni, Zn, Ag, ZnO, TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>, Fe, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Co y Au aplicadas con métodos de oxidación-reducción química, degradación fotocatalítica y electrocatálisis. Además, para la caracterización de las nanopartículas se aplicaron los métodos de microscopía electrónica de transmisión (Leles, 2109).

El tipo de agua residual en el que más se han experimentado con los nanomateriales metálicos son las aguas residuales industriales representando el

50% de los autores indexados, en los cuales se alcanzaron una eficiencia del 100% en la depuración y descomposición de materia orgánica del agua, al aplicarse la tecnología de nanopartículas metálicas, con el método de degradación fotocatalítica, estos métodos aplicados representan el 30% de las tecnologías empleadas (Kanjwal, 2020).

En la última década del año 2010 al 2021 se obtuvo un nuevo nanomaterial magnético a raíz de las nanopartículas de Co y se ha profundizado en el conocer cómo se transportan las nanopartículas en nano membranas celulares, se han alcanzado propiedades catalíticas, antimicrobianas y oxidativas a nano escala. (Leles, 2019). Se desarrollaron electrocatalizadores con  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Co}_3\text{O}_4$  los cuales son eficientes, estables y rentables (Alves, 2019). El nanocompuesto de silicato de aluminio  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  es un potente absorbente de fosfato de las aguas sintéticas y reales (Arshadi, 2015). Alta adsorción de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$  y  $\text{SiO}_2$  frente al arsénico As presente en aguas residuales (Arora, 2020). Se sintetizó con éxito  $\text{Co}_2\text{O}_3$  /  $\text{Cu}_2\text{O}_3$  nano-poroso,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$  (Ahmmad, 2020)

Las ventajas de utilizar nanomateriales metálicos son la gran área superficial que poseen como en el caso de las nanopartículas de  $\text{FeO}$ , el cual permite capturar contaminantes en una mayor área superficial. Otras ventajas de emplear nanomateriales metálicos se presentan en el  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , por su alta reactividad presente por los electrones desapareados que se encuentran sobre la superficie de los átomos, resistencia a la corrosión debido a que a escala nanométrico las moléculas están tan próximas que no permiten el ingreso de otras moléculas que originan la corrosión y desgaste, la producción de gas hidrógeno para la descomposición de materia orgánica ya que en el proceso de oxidación o reducción hay producción de radicales de hidroxilo como subproducto de la descomposición de compuestos a base de carbono (Parsons, 2015).

Las desventajas radican en la dificultad para recuperar las nanopartículas al final del tratamiento debido a las interacciones con el medio y con los contaminantes orgánicos e inorgánicos. La toxicidad de algunas nanopartículas como la del  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  y  $\text{CuO}$  al ser ingeridos o al tener contacto con ellos (Tolaymatha, 2015).

Tabla 4: Avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales a base de Metales

N°	Título del artículo	Tipo de nanomaterial/Nombre	Tecnología	Tipo de agua residual	Eficiencia	Avances	Ventajas	Desventajas	País	Año
1	Estudio de la extracción de cromo (vi) de sistemas acuosos mediante nanopartículas de cobalto.	Nanopartículas de cobalto (Co)	Nanopartículas	Industrial minera	90%	Contar con un nuevo material metálico magnético	Gran energía superficial, gran superficie, gran reactividad, resistencia a la corrosión y desgaste,	No se mencionan	Egipto	2019
2	Nano fibras de NiO, ZnO y NiO-ZnO compuestas electro hiladas / degradación fotocatalítica de efluentes lácteos Degradación fotocatalítica de efluentes lácteos	Nano fibras de NiO-ZnO y ZnO	Nanofibras	Residual industrial	80% y 100%	Se alcanza el 100 % de degradación	Aumenta la actividad superficial	Degradación máxima de 40% del efluente lácteo al usar el compuesto ZnO-NiO	Corea del Sur	2015
3	Degradación fotocatalítica de efluentes lácteos utilizando nanoestructuras Ag TiO2 / membrana de nano fibras de poliuretano	Nano fibras de AgO-TiO2	Nanofibras	Residual industrial	95%	Se alcanza el 95 % de degradación	Aumenta la actividad superficial	Degradación máxima de 75% del efluente lácteo usando AgTiO 2	Egipto	2015
4	Impacto de las nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos en el tratamiento de aguas	Nanopartículas de Ag , ZnO,TiO2 y Fe	Nanopartículas	Residual doméstica	70.8% y 75.6%	Se conoce mejor profundiza sobre cómo se transportan las nanopartículas en	Mayor área de superficie específica, el TiO mejora la producción de gas	El ZnO inhibe la formación de metano	EE.UU	2012

	residuales y la digestión anaeróbica					medios de membranas celulares	hidrógeno (eliminación de materia orgánica), eliminación de amoníaco.			
5	Evaluación de riesgos para evaluar los nanomateriales metálicos de interés ambiental: exposición y comportamiento acuáticos	Nanopartículas de Ag y CeO2	Nanopartículas	Residual industrial	95.4 % y 99.9%	Propiedades catalíticas, antimicrobianas y oxidativas a nano escala	Mayor área de superficie específica	Comercialmente aún no son conocidas la aplicaciones de esta nanopartículas	EE.UU	2010
6	Modelado del transporte de nanopartículas metálicas diseñadas en el río Rin	Nanopartículas de Ag, ZnO, TiO2	Nanopartículas	Residual doméstica	75% y 80%	Se conoce mejor profundiza sobre cómo se transportan las nanopartículas en medios de membranas celulares	Mayor área de superficie específica, el TiO mejora la producción de gas hidrógeno (eliminación de materia orgánica), eliminación de amoníaco.	El ZnO inhibe la formación de metano	Ámsterdam	2015
7	Análisis de emisiones ambientales de nanomateriales metálicos y de óxidos metálicos	Nanopartículas de Ag, ZnO, TiO2, Fe, Al y AlO	Nanopartículas	Residual doméstica	-	-	-	-	EE.UU	2015

8	Nanopartículas de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> como electro catalizadores eficientes para la reacción de reducción de oxígeno en medio ácido	Nanopartículas Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Nanopartículas	Residual industrial	Descriptiva	Se desarrollaron electro catalizadores efectivos con materiales rentables, estables y eficientes.	Bajo costo , se cataliza oxígeno más eficientemente	La investigación sobre el uso de nanopartículas Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y O <sub>3</sub> y Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> aún es escasa.	EE.UU	2019
9	Influencia de los tratamientos térmicos en recubrimientos anódicos nano tubulares de TiO <sub>2</sub>	Nanopartículas TiO	Nanopartículas	Residual doméstica	95 %	Se alcanza el 95 % de degradación	Aumenta la actividad superficial	A temperaturas mayores a 650° existe cambio estructural de la cobertura	Turquía	2018
10	Biosensores plasmáticos basados en esparcimiento ramal intensificado en superficie utilizando nanobes de Au	Nanopartículas de Au	Nanopartículas	Residual industrial	90%	Se alcanza el 90 % de degradación	Aumenta la actividad superficial, inducida por un campos electromagnético	El costo de adquisición de las nanopartículas es poco rentable	Brasil	2019

Los nanomateriales metálicos más frecuentemente utilizados son producidos a partir de Ti, Zn, Ni, Fe y Ag . Se destacan la fotocatalisis y los procesos de óxido reducción como las tecnologías más resaltantes al tratar aguas residuales industriales. Utilizando nanomateriales, en las cuales se obtuvieron altos grados de eficiencia de remoción. Además, se logró sintetizar un nuevo nanomaterial magnético y conocer su dinámica en ciertos ambientes.

En esta investigación al determinar los avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales en el tratamiento de aguas residuales se halló que los nanomateriales metálicos más usados son los derivados de las nanofibras de Ti, Zn, Ni , Fe, Ag así como las provenientes de nanopartículas de Zn y Al podrían complementar a los coagulantes tradicionales como el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  o el hidróxido de aluminio  $Al(OH)_3$  los cuales son bastante empleados en estos procesos, ya que existen ventajas como el área superficial amplio que facilita una alta reactividad y por lo tanto remover mayores grupos de contaminantes con menores cantidades de nanomateriales, además de que de acuerdo a la escala manométrica permitió remover nanopartículas contaminantes de menor tamaño mejorando la calidad de las muestras. Estos resultados se sostienen por investigaciones como la de Tolaymatha y Amro (2015) quienes aplican nanomateriales obtenidos a partir de nanopartículas de Zn y Al con lo cual se ha ampliado la variedad de nanomateriales que se pueden obtener a partir de elementos metálicos a través del método fotocatalítico a mediante el cual se puede degradar contaminantes obteniendo subproductos como Co y H<sub>2</sub>O. Vera y Henrikson (2018) también emplearon nanomateriales metálicos TiO<sub>2</sub>, Si y Li, a través de fotocatalisis, método que se aplicó a través de la excitación y transferencia de electrones e irradiación de luz uv en un rango menor a 400 nm, mediante el cual se degradaron contaminantes orgánicos.

Se pudo identificar que las aguas residuales más empleadas son las industriales debido a la alta carga de contaminantes grasos y de carbono. Esto quiere decir que existen más investigaciones con aplicaciones de los nanomateriales en aguas residuales que provienen del uso industrial. Esto fue respaldado por autores como Kanjwal (2015) trataron aguas industriales con efluentes lácteos los cuales son los más abundantes dentro de este sector, pero también se presentan estudios del

tratamiento de aguas residuales mineras como lo manifiesta Leles (2019) en cuyo estudio se utilizaron nanopartículas de Co para extraer Cr (IV). Se puede observar según los resultados que en el transcurso de 5 años las aguas industriales han sido fuente de experimentación con los nanomateriales. Esto pone de manifiesto que en cuanto a la aplicación de los nanomateriales en relación a los años que transcurren, serán utilizados en más aguas residuales con diferentes características, ampliando el espectro de campos tecnológicos en los que serán de suma utilidad.

También se identificó un nuevo nanomaterial magnético a partir de nanopartículas de Co, esto llamó la atención debido a que las nanopartículas que son utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales una vez cumplen su función de degradación o descomposición frente a los múltiples compuestos, contaminantes o agentes microbianos han pasado a convertirse en muchos casos en parte extensiva de la problemática de la contaminación acuífera. Esto significa que la recuperación de los nanomateriales empleados durante el tratamiento de aguas residuales con estas tecnologías es imperativo debido a los nanos residuos o nanos subproductos generados en el proceso los cuales son potencialmente peligrosos. Esto se corroboró por el estudio de Leles y Nacimiento (2019) en el cual se demostró la recuperación de las nanopartículas de Co aplicando un campo magnético el cual las atrajo logrando ser capturadas, evitando que permanecieran en el agua tratada. En tal sentido, las nanopartículas pueden ser recuperadas evitando causar daños en la salud ya que, se realizó una revisión sistemática sobre los riesgos tóxicos de las nanopartículas, concluyó que existe una relación directa entre la exposición del ser humano frente a las nanopartículas metálicas con problemas cardiovasculares renales y pulmonares Santana (2018), Es por esto que tras lo referido en los resultados el poder contar con nanomateriales de fácil recuperación como las de las nanopartículas de Co, abren la puerta a más posibilidades de investigación para obtener más nanomateriales metálicos magnéticos o de dotar de esta cualidad a otros, ya que también se podrían utilizar las características magnéticas para influir sobre los contaminantes a través de la cinética cuántica o de nanopartículas a esta escala. Lo anterior nos acerca más a hallar la solución de algunos de estos problemas en relación con los métodos ineficientes en el tratamiento de aguas residuales, así como los problemas de salud relacionados, sin duda existen

avances con validez y posibles de emular con otros nanomateriales, nanofibras o nanopartículas metálicas ya que podrían ser recuperadas de forma similar.

También se identificaron más avances respecto a las nanopartículas metálicas como las derivadas del Au, el cual posee una gran área superficial lo cual lo vuelve más reactivo al entrar en contacto con otros elementos o compuestos como los contaminantes orgánicos e inorgánicos como también sus propiedades anti microbianas, por otro lado se encontró que el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{CO}_3\text{O}_4$  poseen la cualidad de transferir 2 electrones como electro catalizadores. Esto significa que además de poseer características de degradación y de descomposición otros nanomateriales metálicos como los derivados de Au poseen características que permiten eliminar bacterias u otros microorganismos. Esto fue respaldado por Pauling y Santos (2019) quienes realizaron el estudio de nanostros de Au demostrando también la alta reactividad que posee este nanomaterial según su área superficial, así como la capacidad de eliminar virus o bacterias de las muestras tratadas. Por otro lado otros nanomateriales metálicos como los obtenidos a partir de las nanofibras de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{CO}_3\text{O}_4$  pueden ser buenos electro catalizadores siendo más eficiente el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Estos resultados fueron respaldados por Alves y Santos (2019) que aportaron en la investigación de las propiedades catalizadoras en la reducción de oxígeno en medios ácidos como los provenientes de aguas residuales mineras, el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{CO}_3\text{O}_4$  con 21 y 31 nm, con lo cual se demostró que  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  es más eficiente que  $\text{CO}_3\text{O}_4$ , requiriendo una potencial de -0.8 v.

Las ventajas de emplear nanomateriales metálicos son: gran área superficial lo cual permite contar con una enorme capacidad de contacto con los agentes contaminantes, por ello está presente la alta reactividad de los iones libres con iones de agentes contaminantes como los de As. Lo anterior se refiere a que a diferencia de los macro compuestos tradicionales, el área disponible de los nanofibras o nanopartículas para contactar con los contaminantes es sumamente más amplio esto porque al ser dividido miles de veces, las caras y área de los nanomateriales se multiplica exponencialmente y como cada área disponible estará compuesta por grandes cantidades de átomos los cuales en el proceso se generan divisiones de los distintos enlaces dejará como resultado electrones desapareados los cuales son altamente repelentes o atractivos. Esto se respalda con el estudio

de Vera (2018) en el cual se utilizaron nanopartículas para obtener recubrimientos nano tubulares de TiO<sub>2</sub> los cuales fueron amorfos antes de la prueba térmica y cristalina posterior al mismo, el nano dióxido de titanio posee un área superficial disponible de 200 m<sup>2</sup>/g aproximadamente lo cual es una característica propia de los nanomateriales metálicos cuya área superficial puede ir de 100 a 400 m<sup>2</sup>/g .Por esta razón tras el análisis de los resultados encontrados se confirma que los nanomateriales metálicos aventaja considerablemente a otras tecnologías aplicadas tradicionalmente, que la calidad final de la muestra tratada será superior.

Las desventajas radican en la dificultad para recuperar las nanopartículas al final del tratamiento y la toxicidad de algunos nanomateriales. Sin embargo, no se menciona ninguna otra específica.

#### **4.2.3 Nanomateriales a base de dendrímeros o polímeros**

Los tipos de nanomateriales a base de dendrímeros existentes son los Poliamidoamina (PAMAM), los Polipropilenimina (PPI) y los Poli-L-Lisina (PLL). Sin embargo, en la revisión realizada se observó que todas las investigaciones se hicieron de PAMAM, esto se debe a que son el tipo de dendrímeros más estudiados, según Ramírez, *et al.* (2019). A su vez, esto se atribuye a la poca complicación que hay en su síntesis y su compatibilidad biológica (López, 2014). Cabe mencionar que, dentro de los artículos revisados estos varían de acuerdo la generación de los Poliamidoamina, donde la Generación 5 es la que se aplica en mayor porcentaje, entendiéndose que se debe a que demuestra mejor eficiencia. Al respecto López (2014), aclara que, los dendrímeros intermediarios con ésteres terminales son conocidos con número de generación decimal (0.5, 1.5, 2.5,etc), mientras que las generaciones enteras tienen grupos camino terminales (1, 2, 3,etc).

En relación con la tecnología más usada, los adsorbentes representan un 54% de 11 artículos revisados, seguido de las membranas con un 36% y finalmente los filtros con un pequeño 18% de uso. Al respecto, las aguas residuales más tratadas con este tipo de nanomaterial son las industriales, de manera específica, aguas con efluentes textiles y con carga de metales pesados. (Bojaran, 2019; Ramírez, *et al.* 2019; Duan, 2019; Canción, *Et al.*, 2017).

Por otro lado, en cuanto a la eficiencia, los autores afirman un elevado índice de adsorción, lo cual se ve respaldado por los resultados de los experimentos empíricos que se muestran en la tabla 4, donde el mínimo porcentaje mostrado por Bojaran (2019) es de 54% y el máximo es de 99.9% (Maleki, *et al.*, (2016). Cabe precisar que, para evaluar estos porcentajes se han considerado parámetros de temperatura, pH, absorbancia, tiempo de contacto y cinética. Asimismo, es importante mencionar que se ha evidenciado que los dendrímeros son más efectivos con el tratamiento de metales, lo que lo hace atractivo para las industrias mineras. (Bojaran, 2019 y Maleki, *et al.* 2016).

Dentro de los avances que se resaltan en la revisión tenemos el desarrollo de una nueva generación de procesos de filtración a baja presión para tratamiento de aguas contaminadas por iones metálicos tóxicos, ya que solo se trabajaba con altas presiones que limitan el proceso. Otro aspecto que vale la pena mencionar es la encapsulación de metales, lo cual permite controlar los lixiviados para evitar la contaminación del suelo y mantos freáticos. Asimismo, están funcionando muy bien los injertos o también llamados nanos híbridos, que funcionan como mejoradores de sistemas convencionales. (Ramírez, *et al.* 2019, Maleki, *et al.* 2016, Duan, 2019, Cancion, *Et al.* 2017).

Por su parte las ventajas que presentan son el tamaño nanoscópico, la superficie esférica, la arquitectura altamente ramificada, cavidades interiores abiertas, topografía similar a la de las partículas con numerosos grupos terminales, y propiedades interesantes como la alta solubilidad, la alta reactividad y la baja viscosidad, alta superficie, hidrosolubilidad, anti incrustante, reciclables y remueven principalmente los iones metálicos tóxicos (Bojaran, 2019, Ramírez, *et al.* 2019, Maleki, *et al.* 2016, Duan, 2019, Cancion, *Et al.* 2017).

En contraste a estos beneficios los autores han identificado como desventaja de los polímeros que reducen su eficacia al trabajar de manera independiente, Duan (2019) debido a la naturaleza compleja de los contaminantes y de la coexistencia de contaminantes orgánicos, inorgánicos y patógenos en las aguas residuales. Asimismo, depende del pH de la solución y el tiempo de remoción es prolongado.

Tabla 5: Avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales a base de dendrímeros

N°	Tipo de nanomaterial/Nombre	Tecnología	Tipo de agua residual	Eficiencia	Avances	Ventajas	Desventajas	País	Año
1	dendrímeros de poliamidoamina PAMAM	Membrana de osmosis inversa	Aguas residuales textiles	96%	No menciona	Reduce las incrustaciones, mínimo ensuciamiento de las membranas, tiene el ángulo de contacto más bajo, la mejor resistencia al cloro; y rendimiento mejorado de la desalinización en el tratamiento real de aguas residuales.	El porcentaje de rechazo de sal, es mínimo	Irán	2020
2	dendrímeros amina	Adsorbentes	aguas residuales industriales (Pb II)	85,6%	MDA-Fe 3 O 4 se puede utilizar eficazmente para la remediación de Pb (II).	Alta capacidad de adsorción, lo que confirma su estabilidad así como su idoneidad para aplicaciones prácticas.	No menciona	Irán	2017
3	dendrímeros de poliamidoamina (PAMAM-G5)	Filtros	Aguas residuales textiles	88,92%	Las generaciones más altas de dendrímeros PAMAM se utilizan para la mejor adsorción y para la	Anti incrustante, mayor tamaño de poro, mínimo ensuciamiento	hay muy pocas aplicaciones en el campo del medio ambiente	México	2019

síntesis de los nanocompuestos.

4	dendrimeros de poliamidoamina (PAMAM)	membranas osmóticas	Aguas residuales textiles	99,4%	No menciona	Poseían hidrofiliidad y cargas positivas sustancialmente aumentadas (es decir, aminos primarios protonados) y, por tanto, exhiben una capacidad anti incrustante y selectividad de amonio superiores.	La capacidad anti incrustante de dicha membrana ultra selectiva de amonio se debilitó debido a la supresión del impacto adverso de cargas positivas excesivas sobre el efecto beneficioso de una mayor hidrofobicidad de la superficie.	Irán	2020
5	dendrimeros de poliamidoamina (PAMAM)	membrana	Aguas residuales hospitalarias	91,3%	No menciona	carga superficial alta y el gran tamaño de los poros, las ramas de dendrímeros, que tenía cargas negativas, tuvo un gran papel durante la filtración	Pueden ensuciarse fácilmente con sustancias disueltas	Irán	2020

6	Dendrimeros PAMAM	membrana	Aguas residuales con metales pesados	83%-93%-90%	Este dendrímeros podría tener un gran potencial en la resolución del tratamiento de aguas residuales para la encapsulación de metales pesados	Son biocompatibles y solubles en agua que permite que este dendrímeros tenga un gran potencial en la resolución del tratamiento de aguas residuales para la encapsulación de metales pesados Pueden ser reciclados gracias a sus propiedades magnéticas. Es capaz de absorber tintes con carga opuesta	Por ser muy polar presenta escasa solubilidad en la mayoría de los disolventes	México	2019
7	Dendrimeros PAMAM	Adsorbentes	Aguas residuales textiles	63,54%, 88,92%	No menciona		Lentos	Portugal	2019
8	Dendrimeros PAMAM	Adsorbente de gel de dendrimeros	Aguas residuales textiles (colorantes aniónicos de naranja de metilo (MO) y tartrazina (TTZ))	>97,75%	Muestra una nueva oportunidad para preparar absorciones prácticas basadas en PAMAM	Tasa de eliminación rápida, alta capacidad de separación, reutilización. Excelente adsorbente para colorantes aniónicos.	En el caso de una alta concentración inicial de colorante, los sitios de adsorción del gel PAMAM no pueden interactuar con todas las moléculas de colorante, por lo que la eficiencia de eliminación disminuye de forma evidente	China	2019

9	Dendrimeros PAMAM	Adsorbentes	Aguas residuales industriales de metales (Ni <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , As <sup>3+</sup> , Co <sup>2+</sup> )	90%	Dos técnicas de mejora del rendimiento para modificar el potencial de dispersión de los CNT potencial de dispersión de los CNT: la modificación	La estructura de los dendrimeros tiene un gran efecto en sus propiedades físicas y químicas. Debido a sus propiedades únicas, pueden aplicarse ampliamente en la limpieza del medio ambiente y la síntesis de nanopartículas. baja toxicidad, bajo coste y accesibilidad, absorbente ecológico. Proceso rápido	No menciona	Irán	2016
10	Dendrimeros PAMAM	Adsorbente de gel de dendrimeros	Aguas residuales industriales de combustibles fósiles (Co II)	90%.	Desarrollo de una nueva generación de procesos de filtración a baja presión para tratamiento de aguas contaminadas por iones metálicos tóxicos	se han investigado ampliamente debido a su bajo coste, su excelente estabilidad mecánica y térmica, sus abundantes estructuras porosas y su facilidad para ser funcionalizados	la estructura de alta reticulación y el impedimento estérico dificultan la difusión del Co(II) en la estructura interior del dendrimeros PAMAM, lo que contribuye a la disminución de la capacidad de adsorción.	China	2017

							Lenta absorción. la diferencia de polaridad del disolvente (etanol),		
			Aguas residuales				cuando se obtiene el equilibrio, los sitios residuales desocupados son difíciles de completar, lo que puede ser causado por las fuerzas de repulsión entre las moléculas de metales pesados en el nano híbridos PAMAM/TiO <sub>2</sub>		
1	Dendrimeros	Adsorbente	industriales	95%-	No menciona	Gran superficie del nano híbrido y accesibilidad de muchos sitios de adsorción.			
1	PAMAM G4	s	( Cu 2 + , Pb 2 + y Cd 2 + )	99.9%				Irán	2016

---

En este estudio al conocer las ventajas de los nanomateriales a base de dendrímeros en el tratamiento de aguas residuales, se pudo encontrar que estos polímeros son altamente reciclables, lo que significa que se pueden seguir usando sin necesidad de requerir nuevas materias primas para su producción, al respecto Ramírez (2019) menciona que la eficiencia de eliminación del contaminante va reduciendo gradualmente al reutilizarlo; en contraste Duan, Song y Zhou (2019), demostró en su estudio que a pesar de utilizar 5 veces un adsorbente consecutivamente para la eliminación de colorantes, la eficiencia de remoción no baja de 81%. Analizando estos resultados podemos asegurar que la eficiencia de estos nanomateriales es muy buena, pese a la disminución que existe después de sus varios usos, lo que es un buen indicador para que los expertos en la fabricación de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, incorporen en prioridad este nanomaterial ya que aporta beneficios al medio ambiente.

Se identificó como desventaja que dentro de los dendrímeros el gel de PAMAM sólo tiene alta eficiencia en eliminación de colorantes aniónicos, lo que lo convierte en un material incompleto, puesto que discrimina a los colorantes catiónicos. Sin embargo, Cuniberti, Rodriguez y Licciardello (2019), prepara nuevos nanocompuestos combinando micro esferas poliméricas  $Fe_3O_4$  / P (NIPAM-co-MAA) y tres generaciones de PAMAM (G3, G4 y G5), para reducir las concentraciones de tintes con diferentes cargas, mostrando resultados favorables con el PAMAM de quinta generación. Considerando estos resultados, se puede concluir que los dendrímeros trabajan mejor combinados y que las generaciones influyen en la selectividad de los tintes, así como en su eficiencia de remoción.

#### **4.2.4 Nanomateriales mixtos o compuestos**

Referente a los nanomateriales mixtos los resultados reportaron que el país donde se ha investigado más en los últimos 10 años es la India representando el 30 % de todas las revisiones (Barchana, 2020; Arora, 2019; Barman, 2020). Siendo los más utilizados aquellos derivados de metales en su mayoría óxidos, representando el 90% de los artículos indexados, los 8 artículos coinciden al estudiar a los nanocompuestos derivados de nanopartículas de  $AlZnO$ ,  $ZnO-C$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$  y  $Al_2SiO_5$  (Arshadi et al., 2020; Fawal, 2020; Barchana, 2020;

Bigogno, 2021; Ghasemi, 2015; Arora, 2019; Barman, 2020; Zheng, 2017, Al-rub, 2020; Ahmad, 2015). Siendo estas las bases de las estructuras, siendo estas añadidas como nanopartículas, así como siendo combinadas con membranas, reportaron resultados innovadores con respecto a estas combinaciones y sus aplicaciones (Ahmmad *et al.* ,2020).

Referente a los avances alcanzados se determinó la sintonización de  $\text{Co}_2\text{O}_3$  /  $\text{Cu}_2\text{O}_3$  nano-poroso,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$  sin necesidad de un tratamiento químico a través de calcinación a  $800\text{ }^\circ\text{C}$  por 4 horas (Hammad, 2020). Se logró identificar cómo mejorar la desalinización según la selección del nanomaterial idóneo, a partir de polietersulfona con nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , con 15% de nanopartículas de obtuvo un 82% de rechazo, y 68% con 10% de nanopartículas adicionadas, con alto rechazo de  $\text{NaCl}$  y  $\text{MgSO}_4$  (Ghasemi, 2015)

Como ventajas se reportó la alta capacidad de eliminación de los iones de P de los ferroceno con  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  alcanzando un 100% de eficiencia de remoción (Arshadi, 2015). Por otro lado Bigogno (2021) reportó una eficiencia de remoción del 93 % utilizando membranas hidrófilas con  $\text{AgNO}_3$ . Otra ventaja fue la reducción de 19 NTU a 14 NTU, y en el segundo tratamiento se redujo a 1 NTU, se alcanzó eliminar patógenos y virus al 100 % (Bigogno, 2020).

Otras ventajas fueron que estos nanomateriales compuestos poseen propiedades físicas mejoradas, estabilidad química, fácil regeneración, ambiente estable, coeficiente de adsorción alto, menos requisitos de espacio, más vida útil, bajo costo y alta capacidad para absorber los contaminantes (Arora,2019).

Las desventajas fueron extraídas son que los sustratos poli anilina, nitruro de carbono y nanotubos de carbono no son eficientes al ser sintetizados con  $\text{AlZnO}$ . Se requiere de espectroscopia infrarroja y análisis gravimétrico para la caracterización de algunos nanocompuestos lo cual elevaría el costo de su utilización (Fawal, 2020).

La tecnología aplicada fue la fotocatalisis con nanopartículas resaltando la de  $\text{FeO}$  a partir de desechos con 7,9% de Ti (Barchana, 2020). El tipo de agua residual en el que más se han experimentado con los nanomateriales metálicos son las aguas

residuales industriales en los cuales se alcanzaron una eficiencia del 100% en la depuración y descomposición de materia orgánica del agua (Fawal *et al.* ,2020).Se aplicó la tecnología del método de degradación fotocatalítica y adsorción haciendo uso de nanopartículas de TiO, FeO, ZnO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> (Arshadi *et al.*, 2020; Fawal,2020; Barchana, 2020; Bigogno, 2021; Ghasemi, 2015;Arora, 2019; Barman, 2020; Zheng, 2017, Al-rub, 2020; Ahmad, 2015).

**Tabla 6:** Avances, ventajas y desventajas de los nanomateriales mixtos.

N°	Título del artículo	Tipo de nanomaterial/Nombre	Tecnología	Tipo de agua residual	Eficiencia	Avances	Ventajas	Desventajas	País	Año
1	Nanomateriales magnéticos de óxidos metálicos mixtos derivados de residuos industriales y sus aplicaciones fotocatalítica en la remediación ambiental	Nanocompuestos de FeO	Nanocompuestos de nanopartículas	Aguas residuales industriales	63.3 %	Se sintetizaron sin necesidad de un tratamiento químico, es favorable para la separación eficiente del par electrón-hueco.	Es el nanomaterial más abundante y sostenible, mejora la degradación de separación. Se puede reutilizar hasta 10 veces seguidas sin perder su efecto fotocatalítico	Baja absorción del TiO2 área superficial baja	India	2020
2	Óxidos mixtos a nano escala funcionalizados con ferroceno como un potente adsorbente de fosfato de las aguas sintéticas y reales (Golfo Pérsico)	Nanocompuestos de silicato de aluminio Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	Nanocompuestos de nanopartículas	Aguas residuales industriales	100%	Podría ser utilizado para absorber iones de P	Reutilización proceso de absorción espontánea y endotérmica	Generales de la obtención	Irán	2015

3	Preparación de nano-sustratos de carbono AlZnO mejorados con energía solar para la remediación de aguas residuales textiles	Nanocompuestos de AlZnO y Nanopartículas a base de Carbono - Grafeno y Carbono	Nanocompuestos de nanopartículas	Aguas residuales industriales	100%	Se confirmó que los huecos y los radicales superóxido oxidativos son cruciales en la ruta de foto degradación de los tintes	Con asistencia de luz solar se alcanza 93.8% de la capacidad de absorción	Los sustratos polianilina, nitruro de carbono y nanotubos de carbono no son eficientes al ser sintetizados con AlZnO	Egipto	2020
4	Tratamiento integrado de aguas residuales de presas mineras con quitosano cuaternizado y membranas hidrófilas nanoestructuradas PAN / HPMC / AgNO <sub>3</sub>	Membranas hidrófilas nano estructuradas poliacrilonitrilo PAN / hidroxipropilmetilcelulosa HPMC / que contiene nitrito de plata AgNO <sub>3</sub>	Membranas nanoestructuradas	Aguas residuales mineras	93%	La presencia de HPMC y AgNO <sub>3</sub> en la formulación de la membrana confiere "superhidrofobicidad" y aumento de "permeabilidad"	Se alcanzaron índices de potabilidad, se redujeron 5 NTU y posteriormente 14 NTU, se alcanzó eliminar patógenos.	Se requiere de espectroscopia infrarroja y análisis gravimétrico	Brasil	2021
5	Síntesis y optimización de PES-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> mezclado membrana nanocompuestos de matriz: estudios de aplicación en la depuración de agua	Polietersulfona (PES) y nanopartículas de Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Nanopartículas	Agua salina / mar	82 %	Mejoraron la hidrofilia	PES-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> al 10% rechaza mas NaCl y MgSO <sub>4</sub>	PES-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> al 15% tiene un flujo mayor de agua pura mas no de filtración de las sales	Arabia Saudita	2015

6	Nano adsorbentes para eliminar el arsénico de las aguas residuales / subterráneas para la gestión de la energía y el medio ambiente	Fe-Ce, Ti-Fe, Ti-Ce, circonio-hierro, óxido de hierro-cobre-manganeso y óxido de hierro-óxido de grafeno	Nanoadsorbentes	Aguas residuales industriales	95%	Alta adsorción de TiO <sub>2</sub> , SnO <sub>2</sub> y SiO <sub>2</sub>	Poseen propiedades físicas mejoradas, estabilidad química, fácil regeneración, ambiente estable, coeficiente de adsorción alto, menos requisitos de espacio, más vida útil, bajo costo y alta capacidad para adsorber los contaminantes	Generales de la obtención	India	2021
7	Uso de nanomateriales nano híbridos en agua tratamiento: eliminación altamente eficaz de ranitidina	Nanohíbridos que consisten en óxido de grafeno (GO) y nanotubos de carbono oxidados	Nanotubos	Aguas residuales industriales	98.3 %	Se determinaron las condiciones óptimas, tiempo de contacto = 140 minutos, masa de nano híbridos GO-OCNT = 10 mg, temperatura de la solución = 290 K, pH de la solución = 6,4, % de reticulante = 0,5 %, y proporción de GO a OCNT = 1: 4.	La eliminación de ranitidina fue muy eficiente	Aún no se han aplicado a otros fármacos contaminantes presentes en las aguas residuales	Jordania	2020

8	Nano cerámicas y nuevos nanocompuestos magnéticos funcionalizados a base de silicato como desinfectantes sustitutivos para agua y depuración de aguas residuales	Nanopartículas de $\text{Co}_2\text{O}_3$ / $\text{Cu}_2\text{O}_3$ nano-poroso , $\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2$	Nanocompuestos de nanoparticulas.	Aguas residuales industriales	85 %	Se sintetizaron con éxito $\text{Co}_2\text{O}_3$ / $\text{Cu}_2\text{O}_3$ nano-poroso , $\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2$	Comportamiento ferromagnético en la nano cerámica y reducción de patógenos	Requiere de una elevada temperatura de $800\text{C}^\circ$	Egipto	2020
---	--	--	-----------------------------------	-------------------------------	------	--	--	--	--------	------

---

En esta investigación al determinar lo avances ventajas y desventajas de los nanomateriales mixtos, se encontró como avances la sintetización de  $\text{Co}_2\text{O}_3$  /  $\text{Cu}_2\text{O}_3$  nano-poroso,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$  sin necesidad de un tratamiento químico a través de calcinación a  $800\text{ }^\circ\text{C}$  por 4 horas (Hammad, 2020). Esto quiere decir que se pueden obtener nanopartículas mixtas con procesos físicos como el de calcinación. Esto se puede respaldar con el estudio de Tsubota et al. (2018) donde analizó un compuesto de  $\text{TiO}$  y  $\text{Au}$ , a  $873\text{ K}$  igual a  $599\text{ }^\circ\text{C}$ , en el cual la actividad fotocatalítica incrementa conforme se eleva más la temperatura de calcinación. En consecuencia, a los resultados se demostró que las calcinaciones a altas temperaturas superiores a  $500^\circ\text{C}$  permiten un crecimiento de partículas.

Otro avance fue cómo mejorar la desalinización según la selección del material idóneo, a partir de polietersulfona con nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , con 15% de nanopartículas de obtuvo un 82% de rechazo, y 68% con 10% de nanopartículas adicionadas, con alto rechazo de  $\text{NaCl}$  y  $\text{MgSO}_4$  (Ghasemi, 2015) .Se puede entender que a una concentración superior de nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  las membranas incrementan la capacidad para retener sales como  $\text{NaCl}$  y  $\text{MgSO}_4$  , se esta forma podemos obtener compuestos o recubrimientos modificando la porosidad y tratando mejor las aguas residuales o salinas. Estos resultados se pueden sostener con la investigación de Ahmad (2021) en el cual analizo las propiedades anti incrustantes salinas, reportó como resultado la capacidad de rechazo del  $\text{SiO}$  del 80%, 75% del  $\text{ZnO}$  y  $\text{TiO}$ . Confirmamos así los avances alcanzados sobre la capacidad de filtración que tienen los óxidos metálicos compuestos al ser empleados sobre membranas utilizadas en el tratamiento de aguas con altas concentraciones de sales como el  $\text{NaCl}$ , el desarrollo de los compuestos de nanomateriales mixtos combinan las cualidades estructurales mecánicas porosas y de filtración que se deben de aprovechar.

Al analizar las ventajas se logró determinar la alta capacidad de eliminación de los iones de  $\text{P}$  de los ferrocenos con  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  alcanzando un 100% de eficiencia de remoción (Arshadi, 2015).Esto devela que los ferrocenos al ser unidos covalentemente a los silicatos de aluminio  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  puede tener un efecto que facilite la distribución de cargas de contaminantes en los puntos de mayor actividad de atracción, evitando aglomeraciones disperejas y permitiendo una captura más

homogénea sobre la superficie del mezclado óxido, impulsando así una eficiente remociones de contaminantes. Esta investigación se puede amparar en el trabajo de Fawal (2020) obtuvo que el AlZnO combinado a nanotubos de carbono remueve el 100% de contaminantes como el colorante azul de metileno, naranja de metilo y naranja de astrazona con pH= 6.5, debido a las propiedades foto catalizadoras la de estabilización la cual permite una distribución homogénea sobre los puntos de reactividad. En tal sentido enfatizamos las ventajas a nana escala de los nanocompuestos metálicos en combinación con los derivados de carbono en el tratamiento de aguas con una amplia posibilidad de perfeccionar aún más estas tecnologías. Por otro lado, Bigogno (2021) reportó una eficiencia de remoción del 93 % utilizando membranas hidrófilas con AgNo 3. Otra ventaja fue la reducción de 19 NTU a 14 NTU, y en el segundo tratamiento se redujo a 1 NTU, se alcanzó eliminar patógenos y virus al 100 % (Bigogno, 2020).

En cuanto a las desventajas se estableció que los sustratos poli anilina, nitruro de carbono y nanotubos de carbono no son eficientes al ser sintetizados con AlZnO. Se requiere de espectroscopia infrarroja y análisis gravimétrico para la caracterización de algunos nanocompuestos lo cual elevaría el costo de su utilización ( Fawal, 2020). Esto quiere decir que los costos de la obtención de los nanomateriales que es elevado en muchos casos, además de que la tecnología así como el nivel de conocimiento requerido, implementos , materiales de laboratorio y equipos analíticos para la caracterización serían las mayores desventajas, además de la toxicidad de algunos de ellos frente al ser humano y sus patologías , cuando no son recuperados post tratamiento.

Esto se puede avalar con el estudio de Bermejo y Serena (2017) quienes principalmente se enfocaron en las patologías, como alteradores endocrinos, por la función hormonal y el efecto adverso que pueden tener (Bigogno, 2020).

## V. CONCLUSIONES

Se identificaron cuatro tipos de nanomateriales los cuales son: nanomateriales a base de carbono, a base de elementos metálicos, a base de dendrímeros y mixtos.

1. Los avances de los nanomateriales son: la obtención de nanopartículas magnéticas de Co recuperables y reutilizables, obtención de nano dendrímeros bajo la inducción de un campo magnético, los nanostros metálicos de Au son recuperables y reutilizables. Remoción de contaminantes al 100% con nanofibras metálicas de ZnO, NiO y AlO.
2. Las ventajas de los nanomateriales son: gran área superficial con varios kilómetros cuadrados de área disponible por nanómetro de área de las nanopartículas, alta reactividad superficial que facilita la degradación de contaminantes compuestos, poseen propiedades hidrofílicas, alta porosidad, alta solubilidad son adherencia sobre las superficies.
3. Las desventajas son: elevados costos para llevarlos a una escala mayor, prolongado tiempo de filtración y ensuciamiento de las membranas que provocan incrustamientos, reduciendo su tiempo de vida útil. Requieren equipos analíticos y conocimientos avanzados para su producción y aplicaciones. Finalmente, varios grupos de los nanomateriales presentan problemas hacia la salud del ser humano y de los seres vivos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Es recomendable emplear los nanomateriales derivados de las partículas de Au para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales con alta carga orgánica, por su baja toxicidad, recuperabilidad y reutilización. Así como investigar más acerca de cómo dotar de características magnéticas a más nanopartículas para facilitar su extracción post tratamiento.

Se recomienda incursionar en investigaciones en busca de la obtención y mejor comprensión de los nanomateriales para el tratamiento de aguas en nuestro país en la actualidad, puesto que son escasos los estudios hasta ahora desarrollados.

Aplicar los nanomateriales para la fotocatalisis para el tratamiento de aguas residuales en nuestro país, ya que por ser uno de los países con alto índice de radiación solar, se puede aprovechar esta energía para producir catalizadores y ser líderes en Sudamérica.

Se hace un llamado a la voluntad política de nuestro país para invertir y brindar mayores recursos para la investigación y de esta manera incentivar e incrementar la red de investigadores y competir con los países que actualmente están a la vanguardia con temas como estos.

Es importante recomendar la investigación a profundidad de los efectos adversos o toxicológicos tanto en el ambiente como la salud de los humanos, que podrían ocasionar el uso de los nanomateriales, ya que supone una preocupación por su alta reactividad que estos presentan.

## REFERENCIAS

Arshadi, M., Zandi, H., Akbari, J., & Shameli, A. (2015). Ferrocene functionalized nanoscale mixed-oxides as a potent phosphate adsorbent from the synthetic and real ( Persian Gulf ) waters. *Journal of Colloid and Interface Science*, 450, 424–433. doi:10.1016/j.jcis.2015.03.026

El-Fawal, E. M., Younis, S. A., Moustafa, Y. M., & Serp, P. (2020). Preparation of solar-enhanced AlZnO@carbon nano-substrates for remediation of textile wastewaters. *Journal of Environmental Sciences*, 92, 52–68. doi:10.1016/j.jes.2020.02.003

Aanchal, Barman, S., & Basu, S. (2019). Complete removal of endocrine disrupting compound and toxic dye by visible light active porous g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/H-ZSM-5 nanocomposite. *Chemosphere*, 124981. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.124981

Cai, Z., Sun, Y., Liu, W., Pan, F., Sun, P., & Fu, J. (2017). An overview of nanomaterials applied for removing dyes from wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19), 15882–15904. doi:10.1007/s11356-017-9003-8

Abu Al-Rub, F. A., Fares, M. M., & Mohammad, A. R. (2020). Use of nanohybrid nanomaterials in water treatment: highly efficient removal of ranitidine. *RSC Advances*, 10(61), 37050–37063. doi:10.1039/d0ra05530a

Abou Hammad, A. B., El Nahwary, A. M., Hemdan, B. A., & Abia, A. L. K. (2020). Nanoceramics and novel functionalized silicate-based magnetic nanocomposites as substitutional disinfectants for water and wastewater purification. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(21), 26668–26680. doi:10.1007/s11356-020-09073-9

Jiryaei Sharahi, F., & Shahbazi, A. (2017). Melamine-based dendrimer amine-modified magnetic nanoparticles as an efficient Pb(II) adsorbent for wastewater treatment: Adsorption optimization by response surface methodology. *Chemosphere*, 189, 291–300. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.09.050

Vatanpour, V. y Sanadgol, A. (2020). Modificación de la superficie de membranas de ósmosis inversa mediante injerto de dendrímero de poliamidoamina que contiene nanohojas de óxido de grafeno para mejorar la desalinización. *Desalación*, 491, 114442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114442>

Nodeh, M., Bidhendi, G., Gabris, M., Akbari-adergani, B., Nodeh, H., Masoudi, A., & Shahabuddin, S. (2020). Strontium Oxide Decorated Iron Oxide Activated Carbon Nanocomposite: A New Adsorbent for Removal of Nitrate from Well Water. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. doi:10.21577/0103-5053.20190138

Nthunya, L. N., Masheane, M. L., Malinga, S. P., Nxumalo, E. N., & Mhlanga, S. D. (2018). Electrospun chitosan-based nanobres for removal of phenols from drinking water. *Water SA*, 44(3), 377. doi:10.4314/wsa.v44i3.05

Zheng-Biao, L., & Ji-Huan, H. (2014). When nanotechnology meets filtration: From nanofiber fabrication to biomimetic design. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 19(4), 1–3. doi:10.1590/s1517-70762014000400001

Elkodous, M. A., El-Sayyad, G. S., Maksoud, M. I. A. A., Kumar, R., Maegawa, K., Kawamura, G., ... Matsuda, A. (2020). Nanocomposite matrix conjugated with carbon nanomaterials for photocatalytic wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 124657. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124657

Tang, H., Shang, Q., Tang, Y., Yi, X., Wei, Y., Yin, K., ... Liu, C. (2019). Static and continuous flow photoelectrocatalytic treatment of antibiotic wastewater over mesh of TiO<sub>2</sub> nanotubes implanted with g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanosheets. *Journal of Hazardous Materials*, 121248. doi:10.1016/j.jhazmat.2019.121248

Peñate, B y Castellano, J. (2016). La Nanotecnología para el Tratamiento de las Aguas. <https://www.iagua.es/blogs/baltasar-penate/nanotecnologia-tratamiento-aguas>

Kanjwal, M. A., Chronakis, I. S., & Barakat, N. A. M. (2015). Electrospun NiO, ZnO and composite NiO–ZnO nanofibers/photocatalytic degradation of dairy effluent. *Ceramics International*, 41(9), 12229–12236. doi:10.1016/j.ceramint.2015.06.045

Kanjwal, M. A., Barakat, N. A. M., & Chronakis, I. S. (2015). Photocatalytic degradation of dairy effluent using AgTiO<sub>2</sub> nanostructures/polyurethane nanofiber membrane. *Ceramics International*, 41(8), 9615–9621. doi:10.1016/j.ceramint.2015.04.024

Liu, J., Dhungana, B., & Cobb, G. P. (2017). Environmental behavior, potential phytotoxicity, and accumulation of copper oxide nanoparticles and arsenic in rice plants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(1), 11–20. doi:10.1002/etc.3945

Song, J., Deng, Q., Huang, M., & Kong, Z. (2022). Carbon nanotube enhanced membrane distillation for salty and dyeing wastewater treatment by electrospinning technology. *Environmental Research*, 204, 111892. doi:10.1016/j.envres.2021.111892

Markus, AA, Parsons, JR, Roex, EWM, de Voogt, P. y Laane, RWPM (2016). Modelado del transporte de nanopartículas metálicas diseñadas en el río Rin. *Water Research*, 91, 214-224. doi: 10.1016 / j.watres.2016.01.003

Tolaymat, T., El Badawy, A., Genaidy, A., Abdelraheem, W., & Sequeira, R. (2017). Analysis of metallic and metal oxide nanomaterial environmental emissions. *Journal of Cleaner Production*, 143, 401–412. doi:10.1016/j.jclepro.2016.12.094

J. Braz. Chem. Soc., 2019. Química Nanoparticles of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> as Efficient Electrocatalysts for Oxygen Reduction Reaction in Acid Medium, Vol. 30, No. 12, 2681-2690, Printed in Brazil - 2019 Sociedade Brasileira de  
<https://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20190195>

Vera, M. et al., 2018. Influencia de los tratamientos térmicos en recubrimientos anódicos nanotubulares de TiO<sub>2</sub>. *Matéria (Rio J.)*23 (02).

<https://doi.org/10.1590/S1517-707620180002.0460>

Lelesa, P., Nascimentoa, M., Cruza, J., de Sousaa, P. Y Lopes, R. (2019). Study of the chromium(vi) removal from aqueous systems by cobalt nanoparticles. *Quim. Nova*, 42(5), 497 – 504.

<http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/AR20190054.pdf>

Peixotoa, L. , Santosb J., Andrade, G. 2019 Biossensores plasmônicos baseados em espalhamento raman intensificado por superfície utilizando nanobastões de ouro, *Quim. Nova*, Vol. XY, No. 00, 1-6, 200\_ <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170416>

Andrade, G.I, Marlene, L., López, L., Itzel, LI. y Galindo, S. (2012). Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 43(3), 9-18. Recuperado en 06 de diciembre de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-01952012000300002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952012000300002&lng=es&tlng=es).

Jialing Song, Qian Deng, Manhong Huang, Zhuang Kong, Carbon nanotube enhanced membrane distillation for salty and dyeing wastewater treatment by electrospinning technology, *Environmental Research*, Volume 204, Part A, 2022, 111892, ISSN 0013-9351 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111892>.

Ong, Y. T., Ahmad, A. L., Zein, S. H. S., & Tan, S. H. (2010). A review on carbon nanotubes in an environmental protection and green engineering perspective. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27(2), 227–242.

Vatanpour, V., y Haghightat, N. (2019). Improvement of polyvinyl chloride nanofiltration membranes by incorporation of multiwalled carbon nanotubes modified with triethylenetetramine to use in treatment of dye wastewater. *Journal of Environmental Management*, 242, 90–97.

Yang, Y., Zhang, C., y Hu, Z. (2013). Impact of metallic and metal oxide nanoparticles on wastewater treatment and anaerobic digestion. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 15(1), 39–48.

Lelesa, P., Nascimentoa, M., Cruza, J., de Sousaa, P. Y Lopes, R. (2019). Study of the chromium(vi) removal from aqueous systems by cobalt nanoparticles. *Quim. Nova*, 42(5), 497 – 504.

Jiryaei Sharahi, F., & Shahbazi, A. (2017). Melamine-based dendrimer amine-modified magnetic nanoparticles as an efficient Pb(II) adsorbent for wastewater treatment: Adsorption optimization by response surface methodology. *Chemosphere*, 189, 291–300. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.0

Ong, Y. T., Ahmad, A. L., Zein, S. H. S., & Tan, S. H. (2010). A review on carbon nanotubes in an environmental protection and green engineering perspective. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27(2), 227–242.

Vunain, E., Mishra, A., & Mamba, B. (2016). Dendrimers, mesoporous silicas and chitosan-based nanosorbents for the removal of heavy-metal ions: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 570–586. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.02.005

Diallo, M. S. (2014). Water Treatment by Dendrimer-Enhanced Filtration. *Nanotechnology Applications for Clean Water*, 227–239. doi:10.1016/b978-1-4557-3116-9.00015-9

Elkodous, M. A., El-Sayyad, G. S., Maksoud, M. I. A. A., Kumar, R., Maegawa, K., Kawamura, G., ... Matsuda, A. (2020). Nanocomposite matrix conjugated with carbon nanomaterials for photocatalytic wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 124657. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124657

Weng, D., Song, L., Li, W., Yan, J., Chen, L., & Liu, Y. (2020). Review on synthesis of three-dimensional graphene skeletons and their absorption performance for oily wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 16–34. doi:10.1007/s11356-020-10971-1

Gautam, P. K., Singh, A., Misra, K., Sahoo, A. K., & Samanta, S. K. (2019). Synthesis and applications of biogenic nanomaterials in drinking and wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 231, 734–748. doi:10.1016/j.jenvman.2018.10.104

Abouzeid, R. E., Khiari, R., El-Wakil, N., & Dufresne, A. (2018). Current State and New Trends in the Use of Cellulose Nanomaterials for Wastewater Treatment. *Biomacromolecules*. doi:10.1021/acs.biomac.8b00839

Haggar, A. M., Awadallah, A. E., Aboul-Enein, A. A., & Sayed, G. H. (2022). Non-oxidative conversion of real low density polyethylene waste into hydrogen and carbon nanomaterials over MgO supported bimetallic Co-Mo catalysts with different total Co-Mo contents. *Chemical Engineering Science*, 247, 117092. doi:10.1016/j.ces.2021.117092

Boruah, P. K., Yadav, A., & Das, M. R. (2020). Magnetic mixed metal oxide nanomaterials derived from industrial waste and its photocatalytic applications in environmental remediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 104297. doi:10.1016/j.jece.2020.104297

Chávez-Lizárraga, Georgina Aurelia. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 52-61. Recuperado en 20 de septiembre de 2021, de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2072-92942018000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942018000100005&lng=es&tlng=es).

Gelover Santiago, S. (2015). Nanotecnología, una alternativa para mejorar la calidad del agua. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias Y Nanotecnología*, 8(14), 40-52. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2015.14.52511>

Vazquez-Duhalt, Rafael. (2015). Nanotecnología en procesos ambientales y remediación de la contaminación. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 8(14), 70-80. Epub 28 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2015.14.52514>.

Casis, Natalia, Fidalgo, Maria M, Ravaine, Serge, & Estenoz, Diana A. (2010). Elaboración de Membranas Poliméricas Porosas a partir de Cristales Coloidales. *Información tecnológica*, 21(1), 3-8. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000100002>

## ANEXOS

### ANEXO 1: Ficha de recolección de datos

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS									
CATEGORÍAS	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	NOMBRE	TECNOLOGÍA	TIPO DE AGUA RESIDUAL	EFICIENCIA	AVANCES	VENTAJAS	DESVENTAJAS	PAÍS	AÑO
CARBONO									
METALES									
DENDRÍMEROS									
MIXTOS									

**\*C: criterio**

## ANEXO 2: Tabla Resumen

N°	Título del artículo	País	Año	Autor	Ecuación de búsqueda	Motor de búsqueda
1	Estudio de la extracción de cromo (vi) de sistemas acuosos mediante nanopartículas de cobalto.	Brasil	2019	Patricia G. LelesMayra A. NascimentoJean C. CruzPaloma V. F. de SousaRenata P. Lopes	Metallic nanomaterials and wastewater	Scielo
2	Degradación fotocatalítica de efluentes lácteos utilizando nanoestructuras AgTiO <sub>2</sub> / membrana de nanofibras de poliuretano	Egypto	2015	Kanjwal MAa,Barakat NAMb , c,Chronakis Esa	Metallic nanomaterials and wastewater	Scopus
3	Impacto de las nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos en el tratamiento de aguas residuales y la digestión anaeróbica	EE.UU	2012	Yu Yang , Chiqian Zhang y Zhiqiang Hu *	Metallic nanomaterials and wastewater	Google académico
4	Evaluación de riesgos para evaluar los nanomateriales metálicos de interés ambiental: exposición y comportamiento acuáticos	EE.UU	2010	Niall Joseph O'Brien,Enda J. Cummins,	Metallic nanomaterials and wastewater	Google académico
5	Modelado del transporte de nanopartículas metálicas diseñadas en el río Rin	Amster dan	2015	AA Markus a bJ.R. Parsons bE.WM Roex aP. de Voogt b cR.WPM Laane	Metallic nanomaterials and wastewater	Google académico

6	Análisis de emisiones ambientales de nanomateriales metálicos y de óxidos metálicos	EE.UU	2015	Thabet TolaymataAmro El BadawybAsh GenaidybWael Abdelraheem bcReynold Sequeira Ismael C. B. AlvesJosé R. N. SantosDeracilde S. S. ViégasEdmar P.	Metallic nanomaterials and wastewater	Google académico
7	Nanopartículas de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> como electrocatalizadores eficientes para la reacción de reducción de oxígeno en medio ácido	EE.UU	2019	MarquesCristina A. LacerdaLei ZhangJiuJun ZhangAldaléa L. B. Marques María Laura VeraEdgard Rubén	Metallic nanomaterials and wastewater	Google academico
8	Influencia de los tratamientos térmicos en recubrimientos anódicos nanotubulares de TiO <sub>2</sub>	Turkia	2018	HenriksonHernán Darío TraidAlicia Esther AresMarta Irene Litter	Nanotubes in water treatment	Scielo
9	Biosensores plasmónicos basados en esparcimiento raman intensificado en superficie utilizando nanobes oro	Brasil	2019	Linus Pauling F. PeixotoJacqueline FL SantosGustavo FS Andrade	Metallic nanomaterials and wastewater	Scielo

10	Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas	Mexico	2015	Marlene Lariza Andrade Guel, Lluvia Itzel López López, Aidé Sáenz Galindo	Nanotubes in water treatment	Scielo
11	Características microestructurales del hormigón añadido de CSH y nanotubos de carbono	Brasil	2021	Marcelo Adriano Duarte	Nanotubes in water treatment	Scielo
12	Destilación de membrana mejorada con nanotubos de carbono para el tratamiento de aguas residuales saladas y teñidas mediante tecnología de electrohilado	China	2021	Canción Jialing aQian DengaManhong Huang abZhuang Konga	Nanotubes in water treatment	Science direct
13	Estática y el flujo de tratamiento photoelectrocatalytic continuo de aguas residuales de antibióticos sobre la malla de TiO <sub>2</sub> nanotubos implantados con gC <sub>3</sub> N <sub>4</sub> nanoláminas	China	2020	Haifang Tang aQian Shang bYanhong Tang aXuanying Yi bYuanfeng Wei bKai Yin bMeijun Liu bChengbin Liu b	Nanotubos and photoelectrocatalityc	Science direct
14	Mejora de las membranas de nanofiltración de cloruro de polivinilo mediante la incorporación de nanotubos de carbono multipared modificados con trietilentetramina para su uso en el tratamiento de aguas residuales colorantes	Iran	2019	Vahid Vatanpour Nasim Haghighat	Nanotubos and photoelectrocatalityc	Science direct

15	Matriz nanocompuesta conjugada con carbón nanomateriales para aguas residuales fotocatalíticas tratamiento	Egypto	2021	Abd Elkodous M.a , b ,S. El-Sayyad G.c , d ,Abdel Maksoud MIAe ,Kumar R.una ,Maegawa K.una ,Kawamura G.a,Bronceado WKf ,Matsuda A.a	Nanotubos and photoelectrocatalityc	Scopus
16	Una revisión sobre los nanotubos de carbono en una perspectiva de protección ambiental e ingeniería verde	Malasia	2010	Yit Thai OngAbdul Latif AhmadSharif Hussein Sharif ZeinSoon Huat Tan	Nanotubos de carbono	Scielo
17	Revisión sobre la síntesis de esqueletos de grafeno tridimensionales y su capacidad de absorción de aguas residuales aceitosas	China	2021	Dandan Weng 1, Canción de Leilei 2, Wenxiao Li 1, Jun Yan 1, Lei Chen 3, Yong Liu 4	Advances, advantages and disadvantages of nanomaterials in wastewater treatment	Pubmed
18	Síntesis y aplicaciones de nanomateriales biogénicos en el tratamiento de aguas potables y residuales	India	2019	Pavan Kumar Gautam 1, Anirudh Singh 1, Krishna Misra 1, Amaresh Kumar Sahoo 1, Sintu Kumar Samanta Ragab E.	nanomaterials in wastewater treatment	Pubmed
19	Estado actual y nuevas tendencias en el uso de nanomateriales de celulosa para el tratamiento de aguas residuales	Egypto	2019	Abouzeid,* ,†,‡ Ramzi Khiari,‡,§,   Nahla El- Wakil,† and Alain Dufresne	nanomaterials in wastewater treatment	Pubmed

20	Nanomateriales de celulosa en tecnologías de tratamiento de agua	EE.UU	2015	Alexis Wells Carpintero 1 2, Charles-François de Lannoy 1 2, Mark R Wiesner	nanomaterials in wastewater treatment	Pubmed
21	Eliminación fotocatalítica de antibióticos impulsada por luz visible mediante nanocompuestos de grafeno C 3 N 4 @MnFe 2 O 4 de nuevo diseño	China	2017	Xiangyu Wang 1, Anqi Wang 2, Jun Ma	nanomaterials in wastewater treatment	Pubmed
22	Modificación de la superficie de membranas de ósmosis inversa mediante injerto de dendrímero de poliamidoamina que contiene nanohojas de óxido de grafeno para mejorar la desalinización	Iran	2020	Roberto Castro-Muñoz	Nanomaterials in wastewater treatment	Science direct
23	Nanopartículas magnéticas modificadas con amina dendrímero a base de melamina como adsorbente eficiente de Pb (II) para el tratamiento de aguas residuales: optimización de la adsorción mediante metodología de superficie de respuesta	Iran	2017	Anny Leudjo Taka 1, Kriveshini Pillay 2, Xavier Yangkou Mbianda	Nanotubes in water treatment	Science direct
24	Desarrollo de nuevos nanocompuestos para la limpieza de aguas residuales	Mexico	2019	Gholamreza GHASEMZADEH (✉) 1 , Mahdiye MOMENPOUR2 , Fakhriye OMIDI3 , Mohammad R. HOSSEINI4	Dendrimer nanomaterial for water treatment	Science direct

, Monireh AHANI5  
 , Abolfazl  
 BARZEGARI

25				E. Vunain AK Mishra BB Mamba	Dendrimer nanomaterial for water treatment	Science direct
		Irán	2020			
26	Tratamiento de Lasalocid A, Salinomicina y Semduramicina como antibióticos ionóforos en aguas residuales farmacéuticas mediante membranas recubiertas de PAMAM	Irán	2020	Cao V.una	Dendrimer nanomaterial for water treatment	Scopus
27	Síntesis del dendrímero PAMAM G1.0 3,3'-((3- hidroxipropil) azanodiil) bis(N- (Z) -2-aminovinil) propanamida para tratamiento de aguas residuales	Mexico	2019	<u>J. Ramírez</u> <u>Hernández</u> <u>G. G. Bárcena</u> <u>Vicuña</u> <u>L. Nava Montiel</u> <u>A. García-Ceja</u> <u>J. Guevara</u> <u>Contreras</u>	Dendrimer nanomaterial for water treatment	EBSCO
28	Desarrollo de nuevos nanocomposites para la limpieza de aguas residuales	Portugal	2019	Bojaran M.b ,	Dendrimer nanomaterial for water treatment	EBSCO
29	Síntesis fácil de gel dendrímero de poliamidoamina con múltiples grupos amina como súper adsorbente para una eliminación altamente eficiente	China	2019	Duan Y.,Canción Y.,Zhou L	Dendrimer nanomaterial for water treatment	Scopus

y selectiva de colorantes  
aniónicos

30	Síntesis y caracterización del nanocompuesto PAMAM / CNT como adsorbente de supercapacidad para la eliminación de metales pesados (Ni <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , As <sup>3+</sup> , Co <sup>2+</sup> ) de las aguas residuales	Irán	2016	Hayati B.una ,Maleki A.aEnviar correo a Maleki A.,Najafi F.b ,Daraei H.una ,Gharibi F.una ,McKay G.	Dendrimer nanomaterial for water treatment	Scopus
31	Eliminación de Co (II) del etanol combustible mediante dendrímeros PAMAM soportados en gel de sílice: estudio experimental y teórico combinado	China	2017	Canción X.,Niu Y.Enviar correo a Niu Y.,Zhang P.,Zhang C.,Zhang Z.,Zhu Y.,Qu R.	Dendrimer nanomaterial for water treatment	Scopus
32	Adsorción de metales pesados de aguas residuales industriales por nanohíbrido PAMAM / TiO <sub>2</sub> : Estudios de preparación, caracterización y adsorción	Iran	2016	Maleki A.una ,Hayati B.una ,Najafi F.b ,Gharibi F.una ,Joo SWC	Dendrimer nanomaterial for water treatment	Scopus
36	Conversión no oxidativa de residuos reales de polietileno de baja densidad en nanomateriales de hidrógeno y carbono sobre catalizadores co-Mo bimetálicos soportados por MgO con diferentes contenidos totales de Co-Mo	Turkia	2021	Ahmed M. HaggaraAhmed E. Awadallah abAteyya A. Aboul-Enein abGalal H. Sayedc	Mixed nanomaterials	sciencedirect

37	Nanomateriales magnéticos de óxidos metálicos mixtos derivados de residuos industriales y sus aplicaciones fotocatalíticas en la remediación ambiental	India	2020	Purna K.BoruahArchanaYadavcManash R.Das	Mixed nanomaterials	sciencedirect
38	Desarrollo de Mezclado Membranas de matriz: incorporación de nanopartículas metálicas en membranas poliméricas	Mexico	2018	García-Ivars J.una ,Corbatón-Báguena M.-J.una ,Iborra-Clar M.-I.a	Mixed nanomaterials	Scopus
39	Síntesis general asistida por urea de nanopartículas de fosfuro metálico recubiertas de carbono para una electrocatalisis de desprendimiento de hidrógeno eficiente	China	2016	Gao S.una ,Liu Y.una ,Li G.-D.una ,Guo Y.b ,Zou Y.una ,Zou X.	Mixed nanomaterials	Scopus
40	Membranas poliméricas de matriz mixta modificadas con nanotubos de halloysita para agua y aguas residuales tratamiento	EE.UU	2021	Grylewicz A.,Mozia S	Mixed nanomaterials	Scopus
41	Nanomaterial carbonoso bifuncional ácido / base con gran área de superficie: propiedades de preparación, caracterización y adsorción de compuestos catiónicos y aniónicos	China	2015	Li K.una ,Ma C.-F.una ,Ling Y.una ,Li M.una ,Gao Q.a , bEnvíe un correo a Gao Q.,Luo W.-J.a	Mixed nanomaterials	Scopus
42	Adsorbentes efectivos basados en nano mezclado (Al-Fe-Zr) óxido sintetizado por nuevos métodos verdes: para la extracción simultánea de fosfato y cromato de contaminantes agua	India	2021	Pala S.una ,Biftu WKa , b,Suneetha M.c ,Ravindhranath K.	Mixed nanomaterials	Scopus

43	Efectos a largo plazo de tres nanomateriales de sulfuro de plata diferentes, nitrato de plata y sulfuro de plata a granel en microorganismos y plantas del suelo	Alemania	2018	Karsten Schlich aMartin Hoppe bMarco Kraas aJonas Schubert c dMunish Chanana e fKerstin Hund-Rinke	Mixed nanomaterials	Scopus
44	Una descripción general de los nanomateriales aplicados para eliminar los tintes de las aguas residuales	China	2017	Zhengqing Cai 1, Youmin Sun 1, Wen Liu 2, Fei Pan 3, Peizhe Sun 4, Jie Fu	Mixed nanomaterials	Pubmed
45	Uso de nanomateriales nanohíbridos en agua tratamiento: eliminación altamente eficaz de ranitidina	Jordania	2020	Abu Al-Rub FAuna ,Tarifas MMB,Mohammad Ara	Mixed nanomaterials	Scopus
46	Nanocerámicas y nuevos nanocompuestos magnéticos funcionalizados a base de silicato como desinfectantes sustitutivos para agua y depuración de aguas residuales	Egypto	2020	Abou Hammad ABuna ,El Nahwary AMuna ,Hemdan BAB,Abia ALK	Mixed nanomaterials	Scopus

---