

**METODOLOGÍAS PARA LOS TRATAMIENTOS NANOTECNOLÓGICOS EN LA
ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES DE AGUAS DE PRODUCCIÓN EN CAMPOS
PETROLÍFEROS**

TALÍA DAMARIS MOSQUERA SERRANO

EDWARD HERNANDO VELOSA ORTIZ

Proyecto integral de grado para optar al título de:

INGENIEROS DE PETRÓLEOS

Director

CAMILO ANDRES FRANCO ARIZA

Ingeniero de petróleos

Orientador

ADRIANA MILENA HENAO BEJARANO

Geóloga

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

BOGOTÁ D.C.

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., febrero de 2021

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigación

Dra. MARIA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dr. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN

Decano General Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Departamento de Ingeniería de Petróleos

Ing. JUAN CARLOS RODRIGUEZ ESPARZA

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y los docentes no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento.

Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Este informe de investigación es dedicado a mi papá Alejandro Mosquera, mi mamá Liliana Serrano y mis hermanas Laura y Liliana Mosquera quienes han sido mi más grande apoyo y motor y que siempre han estado a mi lado dándome confianza y ánimo durante todo el desarrollo de la carrera al igual que a todos mis abuelos que estando lejos o cerca siempre me han brindado su energía y amor. Además, quiero agradecer a Dios y al universo por darme las fuerzas y la guía para terminar este trabajo y la carrera de manera satisfactoria.

Talía Damaris Mosquera Serrano

DEDICATORIA

La investigación realizada está dedicada primeramente a Dios, quien me brindó la salud, y la fortaleza necesaria para dar creación de este trabajo.

A mi madre Luvis Ortiz Triana por brindarme el apoyo incondicional económicamente y compañía en los momentos difíciles del transcurso de la carrera universitaria.

Edward Hernando Velosa Ortiz

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ingeniero Camilo Franco Ariza por su compromiso y disciplina, sin ello no hubiera sido posible el éxito de este trabajo.

A la profesora Adriana Milena Henao quien dispuso de su tiempo en el cual se brindó la asesoría necesaria para dar progreso a cada sección descrita en el trabajo.

Al Ingeniero Carlos Palacios, por su colaboración en la corrección de estilo y lenguaje técnico del artículo.

A Vanessa Ramírez, por su colaboración en la revisión de redacción y organización del trabajo.

Y a todos los demás quienes directa o indirectamente contribuyeron para dar finalización a este trabajo y así culminar de manera satisfactoria nuestro pregrado, permitiéndonos abrir puertas a un nuevo camino laboral como ingenieros de petróleo.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. ESTADO DEL ARTE	14
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Nanotecnología	25
2.2. Agua de producción	26
2.3. Adsorción	27
2.4. Membranas	28
2.5. Fotocatalizadores	29
2.6. Antimicrobianos	29
3. MARCO LEGAL	31
4. ESTUDIOS, VENTAJAS Y EXPERIMENTOS DE LA INDUSTRIA PETROLERA	35
4.1. Nanotecnología	36
4.2. Adsorción	37
4.3. Membranas	42
4.4. Fotocatalizadores	45
4.5. Antimicrobianos	46
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	48
5.1. Pregunta de investigación	48
5.2. Justificación	48
5.3. Hipótesis	48
5.4. Objetivos	48
5.4.1. Objetivo general	48

5.4.2. Objetivos específicos	49
6. METODOLOGÍA	50
6.1 Métodos de análisis documental	50
7. RESULTADOS	52
7.1. Beneficios de los tratamientos	52
8. CONCLUSIÓN	55
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS	63

RESUMEN

En el presente texto se hizo la compilación y el análisis de varios trabajos donde el uso de nanotecnología en las aguas de producción de la industria petrolera es el tema principal. En el agua de producción se encuentran infinidad de componentes tóxicos, los cuales son removidos por diversos procesos, en primera instancia se exponen los diferentes contaminantes encontrados en las aguas residuales y posterior a esto se nombran los tratamientos más comunes utilizados en las mismas. En los siguientes capítulos se abordan temas de mayor interés en base a la nanotecnología como lo es la adsorción, las membranas, los fotocatalizadores y procesos antimicrobianos, que explican los nanomateriales empleados y se enfatiza en el contaminante a remover, y explican las ventajas del aprovechamiento de este recurso natural por medio de los nuevos mecanismos implantados, y se realiza una recopilación de datos que permitan analizar a fondo las alternativas expuestas para concluir cuál de estas, con la ayuda de la nanotecnología, puede incrementar la eficiencia y eficacia en el proceso de remoción de contaminantes de las aguas de producción respecto a las alternativas tradicionales.

PALABRAS CLAVE: Aguas de producción; nanomateriales; adsorción; membranas; catalizadores; antimicrobianos; tratamiento de aguas, aguas residuales.

ABSTRACT

This text has a compilation and analysis of several works with the use of nanotechnology in the production waters of the oil industry as the main topic. In the production water are an infinite number of toxic components, which are removed by different processes. First of all, the different contaminants found in wastewater are presented, followed by the most common treatments used in wastewater. The following chapters deal with topics of major interest based on nanotechnology such as adsorption, membranes, photo-catalysts and antimicrobial processes, which explain the nano-materials used and emphasize the pollutant to be removed, and explain the advantages of using this natural resource by means of the new mechanisms implemented, and a compilation of data was made to analyze in depth the alternatives presented in order to conclude which of these, with the help of nanotechnology, can increase the efficiency and effectiveness in the process of removing pollutants from production waters with respect to the traditional alternatives.

Keywords: Production waters; nanomaterials; adsorption; membranes; catalysts; antimicrobials; water treatment

INTRODUCCIÓN

De las muchas preocupaciones existentes en la industria petrolera a nivel global, se encuentran las consecuencias provenientes de la escasez de agua las cuales en las últimas décadas han sido más notorias, por otro lado los derrames de hidrocarburos causan pérdidas cuantiosas en la fauna y la flora a nivel marino, las capas generadas por los HC obstaculizan la entrada de la luz y de esta manera afectan el desarrollo de la vida de las especies acuáticas, por ejemplo, la fotosíntesis de las algas y los componentes tóxicos abundantes en los hidrocarburos dan muerte a muchos organismos, obstruyendo sus vías respiratorias.

Es importante descontaminar con procesos más eficientes las aguas de producción, teniendo en cuenta que esta investigación está orientada a informar algunas soluciones alternas a los tratamientos tradicionales, mientras abordan el contenido de los procesos que involucran el uso de la nanotecnología e ilustran que a la fecha la industria petrolera tiene un gran interés por explorar y aplicar los estudios realizados de esta nueva tecnología en sus campos. Al momento de nombrar las técnicas más usadas para el tratamiento de aguas, los investigadores fueron muy concretos en lo que pretendían lograr por medio de estas, catalogando así la desinfección, la catálisis, la adsorción y la separación como métodos principales, estos dos últimos como los más vendidos [1].

La nanotecnología se ve influenciada de manera positiva por procesos tales como la adsorción, que brinda disponibilidad de materiales como óxidos metálicos, nanotubos de carbón, grafeno y nano-compuestos, de modo que ofrecen características extraordinarias para la remoción de contaminantes, y facilitan su aplicación a diferencia de los procesos tradicionales. Algunas de las ventajas ofrecidas por los nanomateriales son: una mayor afinidad, una fácil remoción, alta reactividad y rápida cinética, que en su conjunto disminuyen el tiempo de reacción y aportan beneficios económicos al proceso para lograr el objetivo de remoción. Con base en membranas ya conocidas se lograron realizar mejoras en el proceso de separación, gracias a nanopartículas pragmáticas incluidas en los nanocompuestos de la membrana, el progreso con esta nueva tecnología brinda una superioridad en propiedades como la porosidad, estabilidad mecánica e hidrofilia, permeabilidad, entre otras; del mismo modo la fotocatalisis y los antimicrobianos logran un progreso notorio en la permeabilidad y capacidad anti-incrustante, además, consiguieron dejar estáticos varios sustratos de los catalizadores gracias a las nanopartículas, mejorando así la estabilidad de estos y qué del mismo modo sea

posible estimar los efectos de los nanocompuestos con el foto-reactor [2]. La supresión de las trazas de contaminantes y algunos patógenos microbianos del agua tuvieron un progreso significativo de acuerdo a la relación correspondiente de superficie-volumen [3,4]. La detección es de gran relevancia al momento de descontaminar el agua y aunque existan fallas en el método actual, los nanomateriales como los nanotubos de carbón poseen propiedades magnéticas y electroquímicas exclusivas, que son incorporadas en los sensores y apoyan a la guía en la traza de contaminantes para una efectiva detección.

La adaptación de la nanotecnología se ha visto reflejada en la actualidad como respuesta innovadora a las problemáticas que enfrenta la industria petrolera, se dispone conocimiento de los distintos componentes presentes en las aguas que están contaminadas con petróleo, gas, sólidos suspendidos, sales disueltas e incluso elementos radiactivos; en el momento que el agua contaminada llega a la superficie, genera problemas en el medio ambiente debido a que sus componentes deterioran la infraestructura de las instalaciones, son nocivos para el ecosistema y además pueden generar grandes daños a la integridad del personal. Teniendo en cuenta los datos que indican que las grandes cantidades de agua aportan al desarrollo de los pozos petroleros, es importante la implementación de nano materiales para una remoción más precisa de aquellos contaminantes que resultan perniciosos en las aguas de producción. Los materiales usados a nanoescala potencian algunas características y brindan una eficiencia superior a los procesos tradicionales; una de sus características fundamentales va dirigida al tamaño ya que este difiere entre 1 nm a 100 nm con propiedades únicas, donde se da uso de nanointermedios, nanometales, nanopartículas y nanosensores que ofrecen alternativas para futuras investigaciones y el desarrollo de nuevos proyectos, en respuesta a que las industrias buscan día tras día optimizar los procesos para disponer de manera adecuada de las aguas contaminadas, ya sea reutilizándolas o vertiéndolas en fuentes hídricas cercanas, pues el crecimiento de la población con lleva a dar un mejor manejo a este recurso natural que aunque es renovable, por su gran demanda no es posible disponer de él como si fuese ilimitado.

1. ESTADO DEL ARTE

Tabla 1.

Estado del arte

Año	Autor(es)	Título	Aporte
2013	Xiaolei Qu, Pedro J.J. Alvarez, Qilin Li	Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment Aplicaciones de la nanotecnología en el tratamiento de aguas y tratamiento de aguas residuales	Tiene en consideración las posibles aplicaciones que ya existen y las que servirían para un futuro de los tratamientos de agua, en donde muestra brevemente el uso de los nano-adsorbentes a base de carbón para la remoción de contaminantes orgánicos y metales pesados. También muestra el uso de los nano-adsorbentes a base de metales, poliméricos así como la regeneración de cada uno y su reutilización. En seguida, habla de las membranas y recorren desde nano-fibras hasta osmosis directa de estas. Lleva la nanotecnología por la fotocatalisis analizando cuál sería su optimización ante esta. Por último, se observa como es el control y desinfección microbial con mecanismos nano. Mostrando de cada uno un uso favorable con esta nueva tecnología para el tratamiento de aguas.

Tabla 1. Continuación

2016	Yanyang Zhang, Bing Wu, Hui Xu, Hui Liu, Minglu Wang, Yixuan He, Bingcai Pan	Nanomaterials- enabled water and wastewater treatment Tratamiento de aguas y aguas residuales con nanomateriales	En el campo del procedimiento del agua, la nanotecnología ha mostrado un monumental potencial para mejorar el rendimiento y la efectividad de la descontaminación del agua, así como para conceder un enfoque sustentable para afirmar el abasto de agua. En esta revisión, analizan brevemente las aplicaciones recientes de los nanomateriales en el procedimiento del agua y de las aguas residuales. En lo cual respecta a la aplicación a monumental escala en el procedimiento del agua, las nanopartículas deben enfrentarse a ciertos obstáculos, como la agregación, la complejidad de división, las fugas en el agua de contacto y los probables efectos adversos sobre el ecosistema y los humanos. Los nuevos materiales nano-compuestos incorporan los beneficios de las nanopartículas funcionales muestran gigantes ventajas en la aplicación a escala.
------	---	---	--

Tabla 1. Continuación

2016	<p>Muzammil Anjum, R. Miandad, Muhammad Waqas, F. Gehany, M.A. Barakat</p>	<p>Remediation of wastewater using various nano-materials</p> <p>Remediación de aguas residuales con diversos nanomateriales</p>	<p>En la era presente de escasez de recursos hídricos, el procedimiento eficaz de las aguas residuales es un requisito anterior para el aumento de la economía. Es importante desarrollar y ejercer tecnologías avanzadas de procedimiento de aguas residuales con alta eficiencia y bajo requerimiento de capital. El manuscrito examina los probables desarrollos de la nanotecnología con respecto al procedimiento de las aguas residuales.</p> <p>Antes que nada, los nanoadsorbentes, como el carbono activado, los nanotubos de carbono y el grafeno, óxido de manganeso, óxido de zinc, óxido de titanio, óxido de magnesio y óxidos férricos, que acostumbran aplicarse para borrar los metales pesados de las aguas residuales.</p>
------	--	--	---

Tabla 1. Continuación

2017	Alexander E. Burakov, Evgeny V. Galunin, Irina V. Burakovaa, Anastassia E. Kucheroval, Shilpi Agarwal, Alexey G. Tkachev, Vinod K. Gupta	<p>Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review</p> <p>Adsorción de metales pesados sobre materiales convencionales y nanoestructurados para el tratamiento de aguas residuales: Una revisión</p>	<p>Se refiere a remover metales pesados por medio de la adsorción con materiales tradicionales como el carbón activado, la zeolita, minerales de arcilla entre otros, y aunque sirven, algunos se ven con una baja eficiencia en cuanto al contaminante, así que también tocó la adsorción con materiales nanoestructurados con perspectiva favorable, donde menciona pocos materiales pero destacados en el mundo de la nanotecnología, el grafeno, fullerenos y nanotubos de carbón. Dando pie a un análisis de la capacidad de adsorción, donde la temperatura y el pH fueron importantes para concluir.</p>
------	--	--	---

Tabla 1. Continuación

2017	Rafael Castañeda Olvera, Sein León Silva, Eduardo Robles-Belmont, Edgar Záyago Lau	<p>Review of nanotechnology value chain for water treatment applications in Mexico</p> <p>Revisión de la cadena de valor de la nanotecnología para aplicaciones de tratamiento de aguas en México</p>	<p>Las nanotecnologías son parte de una totalmente nueva plataforma industrial con capacidad para superar los recientes sistemas de procedimiento de aguas con elevado contenido tecnológico. Por esto, muchas naciones aplican procesos basados en la nanotecnología para solucionar inconvenientes involucrados con el agua. Los autores de este artículo revisan el estado de las aplicaciones nanotecnológicas para el procedimiento del agua en México. Para eso, siguen la trayectoria del paquete nanotecnológico; a partir de la averiguación y desarrollo hasta su venta. El análisis abarcó numerosas fases: una base de datos con todos los equipos de indagación que estudian este asunto, finalmente, una perspectiva general de las nano-empresas mexicanas del sector del agua.</p>
------	--	---	--

Tabla 1. Continuación

2017	Parimal Pal	<p>CHAPTER 7 Nanotechnology in Water Treatment</p> <p>CAPÍTULO 7 Nanotecnología en el tratamiento del agua</p>	<p>El hecho que las nanopartículas estén expuestas al medio ambiente genera una pequeña preocupación pero se puede controlar por medio de incustraciones ya sea de vidrio o de polímeros, facilitando el manejo de las nanopartículas, todo esto importante debido al crecimiento de las actividades que generan material toxico en el agua, investigando siempre cualquier propiedad peligrosa que lleguen a tener estas nanopartículas para un uso comodoo especialmente en adsorbentes, memembranas fotocatalizadores y antimicrobianos.</p>
2017	Sukanchan Palit	<p>17 - Application of nanotechnology, nanofiltration, and drinking and wastewater treatment—a vision for the future</p> <p>17 - Aplicación de la nanotecnología, la nanofiltración y el tratamiento de aguas potables y residuales: una visión de futuro</p>	<p>Menciona una crisis frente al agua, poniendo desafíos en cualquier idea que logre mejorar los tratamientos para potabilizar progresivamente el agua con el pasar del tiempo, poniendo en frente la sostenibilidad ambiental. Dan como respuesta las membranas, mostrando diferentes maneras de clasificarlas y la nano-filtración ha sido importante ante esta visión, que tienen retos tales como: Evitar el ensuciamiento de las membranas y la visión para remediarlo, mejorar la separación entre solutos que se puede conseguir, el tratamiento posterior de los concentrados, resistencia química y vida útil limitada de las membranas, rechazo insuficiente de contaminantes en el tratamiento del agua potable y la</p>

			necesidad de herramientas de modelización y simulación.
--	--	--	---

Tabla 1. Continuación

2017	Konda Reddy Kunduru, Michael Nazarkovsky, Shady Farah, Rajendra P. Pawar, Arijit Basu, Abraham J. Domb	2 - Nanotechnology for water purification: applications of nanotechnology methods in wastewater treatment 2 - Nanotecnología para la purificación del agua: aplicaciones de la nanotecnología en el tratamiento de aguas residuales	<p>Los contaminantes del agua tienen la posibilidad de ser orgánicos, inorgánicos y biológicos. Por consiguiente, el procedimiento de agua común otorga resultados insatisfactorios, pues las instalaciones de procedimiento no permanecen equipadas para borrar contaminantes estables de baja concentración. El agua producida que tiene hidrocarburos necesita medidas rápidas y sencillas.</p> <p>Por consiguiente, se necesita remover dichos contaminantes del agua contaminada para brindar buena salud al público, hay diferentes procedimientos accesibles para la purificación del agua. Un análisis de la literatura expone que no existe un procedimiento exclusivo suficiente para borrar todos los contaminantes del agua no son “100%” efectivos para proporcionar agua potable. Las tecnologías novedosas y mejoradas para la purificación del agua son relevantes.</p>
------	--	--	---

Tabla 1. Continuación

<p>2019</p>	<p>Lingling Liu, Xu-Biao Luo, Lin Ding, Sheng- Lian Luo</p>	<p>Application of nanotechnology in the removal of heavy metal from water</p> <p>Aplicación de nanotecnología en la eliminación de metales pesados del agua</p>	<p>Este estudio hace una introducción con los efectos negativos de algunos metales pesados, seguido de mencionar términos importantes y el mecanismo de la adsorción como de las membranas, con clasificaciones de los nanomateriales que se han usado, dado que tienen alta adsorción superficial y alta reactividad, dentro de la adsorción se encuentran a base de carbón, a base de metales, otros con quitosano también llamado chitosán y algún material con estructura metal-orgánica. En membranas presentan de cerámica inorgánica, orgánicas donde hay un poco más de amplitud, abren las perspectivas a membranas celulósicas, de fluoropolímeros, polisulfona, polímeros a base de HC, poliamidas y policarbonatos. Ante ambas metodologías se terminó recomendado áreas donde hay que experimentar, adsorción experimentar más allá de laboratorios y en membranas experimentar sobre la rentabilidad.</p>
-------------	---	---	---

Tabla 1. Continuación

<p>2019</p>	<p>Arabinda Baruah, Vandna Chaudhary, Ritu Malik, Vijay K. Tomer</p>	<p>17 - Nanotechnology Based Solutions for Wastewater Treatment</p> <p>17 - Soluciones basadas en la nanotecnología para el tratamiento de aguas residuales</p>	<p>La disponibilidad de agua potable se convirtió en un asunto de inquietud mundial actualmente. Los procedimientos más usados para la purificación del agua tienen la posibilidad de clasificarse en 2 categorías: procedimientos físicos y procedimientos químicos.</p> <p>La degradación fotocatalítica de los contaminantes del agua disueltos. Los procedimientos clásicos de depuración del agua, como la filtración por arena, la sedimentación, la floculación, la coagulación, la cloración y la adsorción en carbón activado, etcétera, no son muy eficaces para remover los compuestos orgánicos disueltos y los iones metálicos tóxicos. La irradiación con luz ultravioleta, el procedimiento con ozono y la incineración son diversos procedimientos alternativos para la supresión de los contaminantes presentes en el agua, aun cuando no son rentables para la supresión de trazas de contaminantes.</p>
-------------	--	---	--

Tabla 1. Continuación

<p>2019</p>	<p>Rama Rao Karri, Shahriar Shams, J.N. Sahu</p>	<p>4 - Overview of Potential Applications of Nano- Biotechnology in Wastewater and Effluent Treatment</p> <p>4 - Visión general de las posibles aplicaciones de la nanobiotecnología en el Tratamiento de aguas residuales y efluentes</p>	<p>Sin mencionar mucho los contaminantes que remueven, si hablan de los tipos de nano-adsorbentes más experimentados como los son a base de carbón, de metales, de polímeros, nanopartículas magnéticas y abren paso a una reutilización y beneficios de este tratamiento que va de la mano con la nanotecnología para lograr la sostenibilidad agua. Concluyendo que el uso de la tecnología nano es buena para los procesos de tratamientos de agua y aunque tiene detalles que mejorar, logran desde ya un avance.</p>
<p>2020</p>	<p>Bapun Barik, Pratap Sagar Nayak, Priyabrat Dash</p>	<p>7 - Nanomaterials in wastewater Treatments</p> <p>7 - Nanomateriales en las aguas residuales Tratamientos</p>	<p>Son amplios cuando hablan de los materiales nano usados para el tratamiento de agua, los más diferentes sería los nano- adsorbentes de metales con soporte de polímeros y el óxido de grafeno, terminando con las propiedades de ellos que se muestran favorables en la eficiencia, mejoran sus propiedades físico-químicas que también son favorecedores para el medioambiente y en la economía pero el problema más grande es su producción a gran escala.</p>

Tabla 1. Continuación

2020	<p>Sherif A. Younis, Hubdar Ali Maitlo, Jechan Lee, Ki-Hyun Kim</p>	<p>Nanotechnology-based sorption and membrane technologies for the treatment of petroleum-based pollutants in natural ecosystems and wastewater streams</p> <p>Tecnologías de sorción y membranas basadas en la nanotecnología para tratamiento de contaminantes derivados del petróleo en ecosistemas naturales y flujos de aguas residuales</p>	<p>La nanotecnología ambiental se ha vuelto atractiva siendo una mezcla compleja del agua residual y los tantos componentes teniendo varios efectos nocivos que se encuentran en ella para los seres humanos y el medio ambiente, donde la adsorción, la absorción y la filtración por membrana se ven de manera prometedora, un análisis completo podría favorecer la elección generando una aplicación práctica de la metodología a usar para el tratamiento de aguas, aquí se argumenta el uso de esta tecnología ambiental en tamaño nano a comparación de las tecnologías comunes, junto con algunas desventajas y ventajas dentro de varios ámbitos como son igual de importantes en este artículo el ambiental y el económico, para saber que esperar de cada mecanismo.</p>
------	---	---	---

Nota: Resumen de textos base del informe de investigación

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Nanotecnología

Sus comienzos se remontan a la época de los 60's, por medio de Richard Feynman, quien en un discurso habló de la nanociencia y de todas las maneras que esta podría ser manipulada para trabajos inimaginables, poniendo así a la materia atómica como una ciencia que daría grandes frutos, resaltando el área de la medicina donde trabajando la nanotecnología y el ADN se convertiría en una manera cautivadora de iniciar su uso, entre otros desarrollos potenciales para atender enfermedades, pero a pesar que se había llegado a la creación de un material atómico con características muy cercanas a las mencionadas en la nanotecnología, se tomó como inexacta y fue desestimada. Años después, Drexler comienza a interesarse por este tema innovador, quien para el año de 1986 escribió un libro donde describió lo que sería un ensamblador a nano escala que tuviera la capacidad de replicarse y de trabajar con otros componentes a escala atómica, gracias a todos los estudios y avances de Drexler volvió a hacer de esta ciencia, tendencia. El posterior hallazgo de microscopios de fuerza atómica y del efecto túnel, permitieron mover los átomos de manera premeditada, Binnig y Heinrich ganaron un premio Nobel de física por su invento del microscopio e iniciando los 90's se desarrollaron los nanotubos de carbón, estos fueron la base de la nanotecnología [5].

La nano escala hace referencia al tamaño entre 1 y 100 nanómetros, los efectos de estas dimensiones dan lugar a cambios drásticos en las propiedades de los materiales adoptando nuevos comportamientos a los cuales se le encuentran múltiples usos en distintos campos, uno de los más conocidos es la medicina. Por otra parte, en términos petroleros se presentará de manera general las principales aplicaciones de la nanotecnología en la exploración, producción del petróleo y gas, estas pueden agruparse en las siguientes:

- Los nanomateriales han evidenciado un incremento de la resistencia que permite mejorar el desempeño de dispositivos mecánicos a elevada presión y temperatura, a la vez que pueden ser empleados para elaborar recubrimiento de protección mecánica y química.
- Las nanopartículas han sido sintetizadas con fines diversos tales como: adsorción de asfaltenos, prevención de daños en la formación y la recuperación mejorada del petróleo, estas son ventajas presentadas por su tamaño ya que son capaces de penetrar en los poros de la roca e incrementar la eficiencia del desplazamiento del petróleo, así mismo mejoran algunas

propiedades físicas del fluido que desplaza el crudo, tales como viscosidad, densidad, conductividad térmica y capacidad calorífica.

- **Nanopartículas magnéticas:** Las nanoestructuras son en su mayoría cristalinas, lo que significa que sus miles de átomos presentan un ordenamiento regular en el espacio, en lo que se denomina red cristalina. En el caso de la biodistribución de las nanopartículas, esta depende en gran medida de la ruta de síntesis, tamaño y forma. Las partículas magnéticas de tamaño nanométrico (diámetros menores de 100 nm) pueden ser preparadas mediante diversos procedimientos. Normalmente estas partículas son obtenidas usando métodos de precipitación, donde la principal dificultad radica en tener nanopartículas monodispersas. Las propiedades magnéticas que poseen las nanopartículas de hierro previenen la aglomeración magnética cuando se dispersan los metales y de esta manera resulta más sencilla su eliminación del medio acuoso. La adición de pequeñas moléculas como ligandos a las nanopartículas puede ser también un factor que aumenta la afinidad de estos compuestos por metales específicos. El uso de nanopartículas magnéticas para extraer metales pesados del agua ha sido demostrado por un número importante de investigadores.

- **Nanoadsorbentes a base de carbono:** Descubiertos en 1991 son cilindros largos de una o varias paredes en forma de láminas enrolladas. Son materiales que en función de sus propiedades únicas presentan características extraordinarias para la eliminación de los metales pesados por medio de la adsorción y han demostrado mayor eficiencia como tener poros en paquetes, sorción más accesibles y mayor sorción de compuestos orgánicos polares que el carbón activado. [6] Uno de los criterios indispensables para este tratamiento trata sobre el pH el cual es descrito en el modelo de Langmuir. Entre las características de mayor relevancia obtenidas por esta nueva tecnología, destacan su alta resistencia, mejor conductividad, mayor estabilidad térmica, alta superficie específica, entre otras.

2.2. Agua de producción

Hace referencia al agua que logra llegar a superficie en el proceso de la extracción de hidrocarburos por medio de las tuberías de pozos, puede originarse desde un acuífero activo, una inyección de agua o una formación de interés, la relación del beneficio lucrativo es una de las características más importantes brindadas por el petróleo, teniendo en cuenta que los costos incurridos en el tratamiento del agua no deben superar el monto del beneficio económico obtenido del hidrocarburo. Esto lleva a diagnosticar la importancia que debe ser necesaria para

el agua, teniendo como referencia cuál será su uso posterior, como en algunos casos puede ser una reutilización en la misma industria o un vertimiento a las fuentes hídricas cercanas, es de consideración estimar la cantidad de sales, metales, sólidos y entre otros contaminantes que pueden generar problemas a nivel del pozo o al ecosistema en general.

La industria del petróleo en todo el mundo es una de las compañías que trabaja con mayores volúmenes de agua, para el año 2000 se consumían alrededor de 210 cientos de miles de barriles/día (33,4 cientos de miles de $m^3 \cdot d^{-1}$) de agua que acompañaban a los 75 cientos de miles de barriles por día (11,9 cientos de miles $m^3 \cdot d^{-1}$) de petróleo. Luego se tiene que en el año 2016 en Colombia, la zona de hidrocarburos consumió cerca de 56,23 cientos de miles de m^3 de agua, alrededor 0,154 cientos de miles $m^3 \cdot d^{-1}$.

El agua proveniente de la industria petrolera colombiana se utiliza y/o se crea en las etapas de investigación, producción, transporte y refinación; siendo mayor su consumo en la etapa de producción, con 91,72% del total, también se tiene que el RAP (Relación Agua/Petróleo) según Ecopetrol fue de 12,45 barriles de agua por barril de crudo en el 2015 y según datos de la Agencia Nacional de Hidrocarburos alrededor del 2017, en junio se produjeron 856.957 barriles de petróleo y el promedio de producción a lo largo del primer semestre ha sido de 849.534 barriles [7].

Para la eliminación de los metales pesados como lo llegan a ser Cu, Zn, Hg, Pd, Ag, Co, As, Cd, Ni, entre otros se realiza por medio de distintos métodos convencionales como la precipitación química, filtración de membranas, eliminación electroquímica, coagulación, osmosis inversa y demás que no cumplen con los requerimientos de la industria, por lo que el proceso de adsorción dando uso de la nanotecnología es una perspectiva de solución para dichos problemas presentados, a un costo menor debido a que en algunos casos se pueden reutilizar los adsorbentes por medio de la desorción, poseen mayor facilidad de transporte, operación e incluso disponibilidad biológica de metales pesados en medios acuosos [8]. Las industrias petroleras al tener un exceso de producción de agua por su desarrollo del campo petrolero, buscan priorizar el mecanismo de la descontaminación óptima de las aguas residuales, de tal manera se desarrollan las técnicas a base de la nanotecnología para garantizar el sustento viable de las mismas compañías [8, 9].

2.3. Adsorción

Se entiende por ser el proceso de adhesión de moléculas de un gas, líquido o sólido, iones o átomos, disueltos en una superficie. La adsorción crea una película de adsorbato en la superficie del adsorbente, esto se empleaba extensamente alrededor del 4000 a.C. en el antiguo Egipto para teñir telas de fibras animales y vegetales, entre otros, así como para la decoloración de bebidas y alimentos. Las sustancias presentes en una etapa líquida se acumulan o se adsorben en la etapa sólida, y después la remoción del líquido se denomina adsorción, que es una operación de transferencia de masa. Las especies disueltas en el disolvente fluyen hacia el gránulo sólido poroso adsorbente por difusión a lo largo del proceso, posterior a ello entran en el área interior del adsorbente y las especies disueltas son absorbidas en el área del sólido por adsorción física o química.

El desarrollo de nuevas técnicas da lugar para el tratamiento de aguas contaminadas, entre ellas está de preferencia la adsorción, la cual es de gran uso por sus costos mínimos, fácil operación y disponibilidad de materiales para su desarrollo [9].

2.4. Membranas

Las membranas se definen como barreras selectivas que permiten el paso de varias sustancias, sin embargo impiden el paso de otras, como moléculas, iones u otras partículas pequeñas. Es una tecnología totalmente nueva que fue extensamente estudiada y explorada en las metodologías de limpieza para aguas de producción y residuales. Tiene las siguientes ventajas: alta eficiencia de división, no necesita cambio de etapa, conservación de energía, custodia ambiental, simplicidad de equipo y facilidad de operación. Tiene considerables ventajas técnicas en el procedimiento de aguas y se convirtió en una tecnología imprescindible en el campo del procedimiento de aguas. La tecnología de división por membrana se usa en el procedimiento de aguas residuales de metales pesados, no sólo para poder hacer los estándares de descarga de permeado o de cría, sino además para la recuperación de recursos importantes. En los últimos años, los científicos realizaron muchas averiguaciones sobre la tecnología de división de membranas en el procedimiento de aguas residuales de metales pesados, que han revelado ciertas perspectivas de aplicación [9]. Las membranas hoy en día se han convertido en un material principal para la separación de metales pesados y de contaminantes inorgánicos [10]. Una membrana es una hoja bastante delgada de material semipermeable que posibilita la permeabilidad en áreas seleccionadas por medio de sus poros según su tamaño y forma. Siendo una gran manera de trabajar el agua de producción y por eso se logró visualizar cómo la nanotecnología ampliará la ayuda en este método. En base a ciertas características específicas

como porosidad y estructura, las membranas tienen la posibilidad de separarse en diversos tipos, como por ejemplo membranas de nano-filtración, membranas de nano-compuesto, membranas de nano-fibra, entre otras [11].

2.5. Fotocatalizadores

La fotosíntesis, es comúnmente conocida por remover CO_2 para crear materia orgánica, la fotocatalisis borra otros contaminantes comunes en la atmósfera, como son los NO_x , SO_x , COVs , por medio de un proceso de oxidación activado por la energía solar. Así que una actitud fotoquímica convierte la energía solar en energía química en el área de un catalizador o sustrato, consistente en un material semiconductor que acelera la rapidez de actitud. Los materiales de creación tratados con un fotocatalizador eliminan más que nada las partículas NO_x que permanecen elaboradas por los vehículos, la industria y la producción de energía [12]. Ya más específico en el área que tratamos es cualquier proceso de oxidación avanzado empleado en el procedimiento del agua y las aguas residuales. Esto muestra cualquier potencial importante como una solución de bajo precio, envidiable de la tecnología que procesa agua sustentable y respetuosa con el medio ambiente. Además la oxidación foto-catalítica es un proceso de degradación avanzado para la supresión de los contaminantes y compuestos como el tinte, que no se biodegradan de forma fácil en plantas de procedimiento convencionales [13].

2.6. Antimicrobianos

Estos se definen como el control del incremento de microbios por medio de la sanitización, la reducción del desarrollo y para defender el agua en este caso u otras sustancias químicas por contaminación, ensuciamiento o deterioro provocado por bacterias, virus, hongos, protozoos, algas o limo. De las averiguaciones llevadas a cabo en las últimas décadas, revelaron un dilema entre la sanitización positiva y la formación de subproductos de la sanitización, ya que, tienen la posibilidad de reaccionar con otros elementos en el agua y producir subproductos de desinfección nocivos [14]. Los métodos actuales aplicados a la desinfección de las aguas residuales son eficaces obteniendo resultados beneficiosos para las compañías, sin embargo posee una gran deficiencia en debido a que puede generar sustancias nocivas que son subproductos de desinfección (DBP), los productos que son más comunes para estos procesos son la cloramina, el cloro y otros, a partir de ellos pueden reaccionar y crear cientos de DPB dañinos. Posterior se han generado alternativas como la desinfección UV ya que generan menos DPB, unas de las características esenciales que deben presentar los desinfectantes es su

actividad antimicrobiana debe ser amplia para temperatura ambiente y en el menor tiempo posible, fácil su almacenamiento y no ser corrosivos con ningún equipo o superficie [14, 15].

3. MARCO LEGAL

Decreto 1594 de 26 de junio de 1984

- Artículo 20, menciona los componentes de atención sanitaria, se mencionan los que llegan al interés del proyecto, en metales pesados encontramos arsénico, bario, cadmio, cobre, cianuro, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio, hidrocarburos aromáticos, polinucleares.
- Artículo 61, se niega la inyección de residuos líquidos en algún acuífero, a menos que se tratara de las aguas que proceden de la exploración y explotación, fuese petrolífera o de gas natural, desde que no se imposibilite el uso de momento o a futuro.
- Artículo 66, se dictaminan normas para el vertimiento de acuerdo a las disposiciones que se le tengan.
- Artículo 72, el vertimiento tendrá en cuenta las siguientes condiciones mínimas, un pH de 5 a 9, no deben tener materiales flotantes, remoción de grasas y aceites de más del 80% en carga, remoción de sólidos suspendidos de más del 50% en carga.
- Artículo 151, se podrá requerir un estudio ante el impacto ambiental cuando: a. el vertimiento se observe con alto riesgo para la salud humana, c. en lugares de exploración y explotación de recursos naturales no renovables, g. en exploración y explotación de causas, suelos y subsuelo marino

Resolución 0631 de 17 de marzo de 2015

- Artículo 11, muestra los parámetros fisicoquímicos necesarios de controlar para un vertimiento de aguas que se relacionan con petróleo crudo, gas natural y derivados donde los límites serán mostrados a continuación:

Tabla 2.

Parámetros límites para vertimientos de aguas relacionadas con crudo, gas y derivados

PARÁMETRO	UNIDADES	EXPLORACIÓN (UPSTREAM)	PRODUCCIÓN (UPSTREAM)	REFINO	VENTA Y DISTRIBUCIÓN (DOWNSTREAM)	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO (MIDSTREAM)
Generales						
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	400,00	180,00	400,00	180,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	200,00	60,00	200,00	60,00	60,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSEO)	ml/L	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Fenoles	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hydrocarburos						
Hydrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Hydrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
BTEX (Benceno, Tolueno, Etibenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Compuestos de Fósforo						
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Compuestos de Nitrógeno						
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Nitrógeno Total (N)	mg/L	10,00	10,00	10,00 o 40,00 si en el proceso de refino se incluyen actividades de hidrogenación	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones						
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	1.200,00	1.200,00	500,00	250,00	250,00
Fluoruros (F ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	300,00	300,00	500,00	250,00	250,00
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Metales y Metaloides						
Arsénico (As)	mg/L	0,10	0,10	0,10		
Bario (Ba)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,10	0,10		
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00	3,00		
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50	0,50		
Hierro (Fe)	mg/L	3,00	3,00	3,00		
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01	0,01	0,01		
Niquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50	0,50		
Plata (Ag)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Plomo (Pb)	mg/L	0,20	0,20	0,10		
Selenio (Se)	mg/L	0,20	0,20	0,20		
Vanadio (V)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Otros Parámetros para Análisis y Reporte						
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Nota: Se muestran el registro del que se habla en el artículo 11 sobre los límites de algunos componentes. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible

Donde el mismo artículo aclara que si el vertimiento se hará en un cuerpo superficial de agua receptor o en el mismo lugar, el cual su disposición sea para consumo humano, doméstico y pecuario, la concentración de HC aromáticos poli-cíclicos debe estar menor o igual a 0,01 mg/L, en el proceso que se haya definido como análisis y reporte. Y como segunda aclaración no se permite el vertimiento de aguas de producción o de los fluidos de retorno a las áreas de agua superficiales y alcantarillados público, hasta que no se logre unas demarcaciones máximas tolerables.

Establecida ya la referencia nacional, un país internacional como Estados Unidos tiene los siguientes límites ante la calidad del agua frente al vertimiento:

Tabla 3.

Parametros de EEUU

Compuesto	Estandar (mg/L)	Reglamentación
Bario	1	Reglamentación primaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 141
Fluor	4	Reglamentación secundaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 153
Cromo	0.05	Reglamentación primaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 141
Niquel	0.5	Dosis de referencia de la EPA para la toxicidad de sistema
Cadmio	0.01	Reglamentación primaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 141
Plomo	0.05	Reglamentación primaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 141

Arsenico	0.05	Reglamentación primaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 141
Antimonio	0.01	Dosis de referencia de la EPA para la toxicidad de sistema
Boro	1	Nivel de toxicidad en la vegetación, Sanks y Asano, 1976
Zinc	5	Reglamentación primaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 141
Hierro	0.3	Reglamentación primaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 141
Manganeso	0.05	Reglamentación primaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 141
Cloro	250	Reglamentación secundaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 153
Sodio	250	Reglamentación secundaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 153
Tolueno	10	Reglamentación primaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 141
Benceno	0.005	Reglamentación primaria nacional de agua potable, 40 CFR, parte 141
2- Butanone	2	Dosis de referencia de la EPA para la toxicidad de sistema
Fenol	1	Dosis de referencia de la EPA para la toxicidad de sistema
Fenantreno	0.002	Dosis de referencia no verificada EPA para un sistema de toxicidad

Nota: Parámetros de algunos componentes en Estados Unidos, con su respectiva referencia.

4. ESTUDIOS, VENTAJAS Y EXPERIMENTOS DE LA INDUSTRIA PETROLERA

Las aguas de producción de la industria, contienen infinidad de componentes que son altamente tóxicos e incluso algunos de ellos reactivos en los que se destacan metales pesados, sólidos suspendidos, sales, hidrocarburos, entre otros. La agencia de protección ambiental (US EPA) establece que los metales pesados más peligrosos y tóxicos existentes en las aguas residuales son: As (Arsénico) , Cr (Cromo), Hg (Mercurio), Pb (Plomo), Cd (Cadmio), Cu (Cobre), Ni (Níquel) y Zn (Zinc), los cuales deben ser tratados antes de dar una disposición final o en algunos casos ser reutilizadas para algún proceso dentro de la industria, a continuación se evidencia algunas de las consecuencias que generan la presencia de dichos componentes [16,17].

Tabla 4.

Estándares MCL y efectos nocivos de metales pesados peligrosos

METAL PESADO	ENFERMEDADES Y EFECTOS	MCL mg/g
As	Enfermedades vasculares y cutáneas, cáncer visceral	0.05
Cd	Trastorno y daños renales, cancerígeno	0.01
Cr	Dolor de cabeza, diarrea, náuseas, cancerígeno	0.05
Cu	Daño hepático, enfermedad de Wilson, insomnio	0.25
Hg	Artritis reumatoide, circulatoria y nerviosa trastornos	3.0 x 10 ⁻⁵
Ni	Dermatitis, asma crónica, cancerígeno.	0.20
Pb	Trastornos cerebrales, renales, circulatorios y nerviosos trastornos	6.0x 10 ⁻³
Zn	Depresión, letargo, signos neurológicos, aumento sed	0.80

Nota: Esta tabla muestra las concentraciones mínimas de los metales pesados que pueden causar enfermedades y efectos sobre la salud del ser humano. Tomado de S. Babel and T. A. Kurniawan, "Various treatment technologies to remove arsenic and mercury from

contaminated groundwater: An overview," Proceedings of the First International Symposium on Southeast Asian Water Environment, pp. 433-440, 01/01 2003.

Al referirse de los procesos convencionales, se encontraron algunos experimentos realizados en los que se destacaron el uso del carbón activado (AC) como uno con mayor efectividad en la remoción de contaminantes, en la Tabla 2 se ilustra algunos de los experimentos en los que se funcionaliza el AC con algún material adicional, sin embargo dichos procedimientos resultaron costosos confirmándose al igual en otros experimentos que debía manejarse un pH alto y se necesitaba mayor tiempo para obtener resultados gratificantes [18,19].

Tabla 5.

Adsorbentes tradicionales

PROCESOS TRADICIONALES		
Tipo de adsorbente	Contaminante a eliminar	Concentraciones (mg/g)
Carbon activado de eucalipto	Cu 2+	28,575
Carbon activado de eucalipto	Pb 2+	109,81
Carbon activado comercial	Cr 6+	44
CA a base de cascara de arroz	Cu 2+	33,92

Nota: Esta tabla muestra algunos de los tratamientos más comunes en la industria petrolera con respecto a la eliminación de metales pesados.

4.1 Nanotecnología

A partir de esta nueva tecnología para la industria los materiales empleados al tamaño nano han brindado ventajas de gran interés para su uso, en los que a nivel general se reflejan los siguientes:

En adsorción

- Alta superficie específica
- Alta resistencia
- Resistencia eléctrica
- Mejor conductividad
- Estabilidad térmica

En membranas

- Alta hidrofilia
- Propiedades antiincrustantes
- Eficiencia de absorción

- Alta permeabilidad
- Eficiencia de rechazo
- Flujo de agua
- Resistencia al ensuciamiento

A continuación se detalla cada uno de los avances obtenidos por cada uno de los métodos evaluados

4.2. Adsorción

La adsorción brinda mayor impacto en las ventajas como es el transporte y disponibilidad biológica de los metales pesados en sistemas acuosos, también menor toxicidad, regeneración fácil del nano adsorbente, alta área de superficie, un tamaño de poros ajustable. Mejor distancia de difusión, bajos costos operacionales convirtiéndolo en el método más común y eficiente [20,21].

Además se encuentran que los nano adsorbentes a base de metales son muy buenos, y el beneficio se produce a partir de una combinación de oxígeno en óxidos metálicos y los metales disueltos [22]

Es de resaltar los parámetros fundamentales que son necesarios para un procedimiento exitoso:

- Temperatura
- Dosis del adsorbente
- pH
- Tiempo de contacto

Dentro de los estudios más relevantes se encuentran, la eliminación de metales pesados y de aceite, a continuación se mencionan:

REMOCIÓN DE METALES PESADOS: Como material a base de carbón, hay evidencia de los nanotubos de carbón son utilizados para eliminar iones como el Cr^{+6} que en un procedimiento de laboratorio combinaron MnO_2 con Fe_2O_3 y nanotubos de carbón de paredes múltiples oxidado con ácido en donde su eficiencia llegó a ser del 85% manejándose en un pH de 2.0 [23]. Desarrollaron nanotubos adsorbente híbridos utilizando TiO_2 y MnO_2 para la eliminación de Pb^{+2} obteniendo un resultado eficiente de 137 mg/g y 78.74mg/g respectivamente [24, 25]. En otro experimento realizaron la oxidación de nanotubos de carbón

de paredes múltiples (O-MWCNT) por medio de ácido nítrico concentrado con el fin de eliminar el Au (III). Su capacidad de adsorción fue de 62.3 mg/g, esto se logró gracias a la estructura de superficie hidrófila y los grupos funcionales que contienen oxígeno. Luego de ser tratado en aguas residuales de la Universidad King Abdulaziz se obtiene una eficiencia entre 99.2% - 100% en la eliminación de Au (III) [9].

En un experimento realizado con el nanomaterial Al_2O_3 , es decir, a base de un óxido de metal, donde manejaron un tamaño de partículas entre 62 y 87 nm con un pH de 5.5 y se evidenció una remoción eficiente del Cr (III), Cd (III) y Pb (II) en concentraciones 100,0, 83,33 y 100,0 mg / g respectivamente [26]. De igual, utilizaron TiO_2 para la eliminación de metales y obteniendo resultados de la siguiente manera; Pb 2,0 $\mu\text{mol/L}$ (99,9%), Cd 3,9 $\mu\text{mol/L}$ (96,2%), Zn 6,3 $\mu\text{mol/L}$ (98,2%), demostrando así que puede ser una excelente alternativa para la industria petrolera [23], además se encuentra el desarrollo del nano adsorbente de Zn el cual tenía un tamaño de 26 nm y su máxima capacidad de adsorción para los metales Zn (II), Cd (II), Hg (II) fue de 357, 387, 714 mg/g respectivamente [27].

Ahora, como polímeros naturales sintetizados exitosamente por medio de un método químico y mecánico, las nanopartículas de quitosano y las nanofibras de quitina, respectivamente que por ser naturales generan bajo costo y son biocompatibles. Las nanofibras de quitina (CNF) y las nanopartículas de quitosano (CNP) fueron usadas para la división de iones metálicos de plomo (II) de una solución acuosa, e investigaron la predominancia de los componentes. Se halló que los dos adsorbentes tienen la posibilidad de adsorber iones de plomo de la solución, sin embargo, la eficiencia de adsorción del CNP en cada uno de los periodos ha sido más grande que la del CNF. Dichos nano adsorbentes de bajo costo y respetuosos con el medio ambiente aplicados para dividir los iones de plomo metálico de la solución acuosa. Se emplearon a una técnica discontinua para el proceso de adsorción. Los resultados indican que los nano-adsorbentes, gracias a su enorme área superficial como a los diferentes conjuntos funcionales, tienen la posibilidad de remover los iones de plomo de la solución acuosa de forma eficiente. Ante la captación de plomo los CNP ha sido más grande que la de los CNF en cada una de los periodos teniendo en cuenta que la proporción de plomo adsorbido es dependiente en medida de la concentración inicial de iones metálicos. Al incrementar la concentración inicial de 2 a 140 ppm y manteniendo todos los otros factores constantes, la interacción entre los iones de plomo (II) y la proporción de adsorbente y por consiguiente, la interacción entre los iones de plomo (II) y los sitios activos se incrementa. Así que, hay más iones de plomo (II) accesibles para que los sitios activos reaccionen con ellos y, por consiguiente, la absorción de

plomo se incrementa como consecuencia. A concentraciones iniciales bastante altas concentraciones iniciales muy elevadas, el plomo adsorbido permanece casi constante, gracias a la saturación del lugar activo por los iones metálicos, más allá de las concentraciones de 100 ppm de iones de plomo, no se observaron cambios significativos en la adsorción de iones de plomo. Los resultados de los experimentos presentan que el CNF y el CNP tienen la posibilidad de remover velozmente los iones de plomo y, presentan una alta proporción de absorción de plomo. Para concentraciones más bajas (2-10 ppm) se han realizado experimentos y el resultado enseñó que no había casi ningún ión de plomo en la solución restante y la eficiencia de supresión de iones de plomo se obtuvo del 96% al 100%. El pH de supresión óptimo para los dos adsorbentes se vio igual a 5.0 [28].

Las zeolitas naturales otro nano-material bastante mencionado, son estructuras de aluminio-silicato hidratadas con poros ocupados por agua, álcalis y cationes de metales alcalinotérreos. Estos materiales pueden adquirir grandes propiedades de adsorción sobresalientes, también actúan como un intercambiador de cationes esto a causa de su superficie cargada de manera negativa debido a su estructura porosa 3D única, estos materiales pueden adquirir propiedades de adsorción excepcionales. La zeolita generalmente actúa como un buen intercambiador de cationes como resultado de su superficie cargada negativamente. En virtud de su capacidad de intercambio catiónico, así como sus propiedades de tamizado molecular, las zeolitas naturales pueden servir como muy buenos absorbentes en procesos de separación y purificación con alta selectividad [29]. Las nano zeolitas también han sido mejoradas al ser funcionalizadas con tensioactivos catiónicos, su función principal ha sido la eliminación de contaminantes cancerígenos y aniones nocivos [30]. Además realizaron experimentos para identificar el potencial de las zeolitas NaX, las cuales fueron preparadas por el método de electro hilado, su capacidad de adsorción fue de 838.7 mg/g con una eliminación del 80% de Cd^{+2} a un pH óptimo de 5.0 [31]. Como adición, un estudio realizado uso la zeolita modificada con Mg para la eliminación de Cd^{+2} manejando un tamaño de poros entre 40 a 50 nm y a un pH de 7.0 se obtiene una eliminación mayor al 98% del contaminante, y al ser comparadas con las zeolitas que fueron modificadas con K y Na se alcanza una remoción de 1.5 superior y 2 veces mejor a diferencia de las zeolitas naturales [32].

REMOCIÓN DE ACEITE: Encuentran opciones específicas tanto para agua dulce como para agua salada, siendo aclarado que estos experimentos pueden llevarse al agua de producción. Para agua dulce el material utilizado resultó bastante adsortivo y de un rápido equilibrio teniendo en cuenta que una de las conclusiones fue que el pH es una de las

características de referencia en estas pruebas, siendo el mejor sistema para la adsorción del crudo un pH de 7 (Neutro), los materiales usados fueron nanopartículas de alúmina funcionalizadas con nano sorbentes de residuos vacíos de petróleo también usados para el agua salada, esto último cabe recalcar que son las impurezas del crudo que usan para hacer betunes y fueles pesados [33]. El caso para el agua salada no es tan distinto pero se usó alúmina hidrófoba además de lo ya mencionado, se realizó el mismo proceso de variar los escenarios sobre todo el de pH y del % en peso de residuos vacíos en donde los resultados confirmaron que en un sistema neutro es mejor para remoción del aceite, agregando que también mostró buenos resultados para pH ácidos [34]. La cantidad máxima adsorbida medida experimentalmente es un 80% mayor con el medio salado que con el agua dulce [33].

Otro material para la remoción del crudo es un nano intermedio de sílice que posee características de gran potencial para la adsorción del aceite en el agua y nano partículas que usaron para la adsorción del aceite que encuentran emulsionado en el agua, donde su funcionalidad se cotejo con un material habitual como lo es la cáscara de nuez que se destaca en este proceso, en donde se estudio por medio de experimentos de diferentes características como salinidad, pH, temperatura y la concentración de crudo notándose una diferencia abismal [35], la nano-sílice hidrófoba comercialmente disponible, resultó ser un adsorbente efectivo en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con gasolina y diesel, con una alta tasa de adsorción y una eficiencia de eliminación del 99% [34].

De nuevo los nanotubos de carbón, en la mayoría de los casos utilizados en la industria realizados en un rango de temperatura aproximado de 300 K con el fin de ser más eficaz su desarrollo y procedimiento. Las ventajas presentadas por los nanotubos de carbón crecidos brindan la facilidad de la adsorción de contaminantes aromáticos por medio de la superhidrofobicidad. Esta característica se da debido a que no hay interacción con las moléculas de H₂ y O₂ de tal manera dando vía libre al paso del agua , en un caso de estudio se comprobó que los MWCNT (nanotubos de carbón con paredes multiples) basado en extractor de fase sólida (150 mg) para la recuperación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos demostraron después de varios estudios que su mejor rendimiento fue con las concentraciones de 125 mg obteniendo una eficacia entre 75.8% a 125.3% y de igual manera una recuperación con un rango de 70.9% a 96.8% [36]

En la Tabla 3 se resume la información sobre la adsorción de algunos metales pesados, evidenciando la capacidad de los nanomateriales en sus distintas combinaciones utilizados para fines de tratamientos de agua.

Tabla 3.

Adsorbentes en base a la nanotecnología

ADSORCIÓN		
Tipo de adsorbente	Contaminante a eliminar	Concentraciones (mg/g)
Nano Zeolitas naturales	Cd 2+	838,7
Nanotubos con MnO2/Fe2O3/Ácido nítrico	Cr 6+	186,9
Nanotubos oxidados con HNO3	Pb 2+	49,95
Nanotubos adsorbentes híbridos con TiO2	Pb 2+	137
Nanotubos adsorbentes híbridos con MnO2	Pb 2+	78,74
Grafeno funcionalizado	Pb 2+	406,6
Grafeno modificado	Pb 2+	1308
Grafeno tridimensional/δ-MnO2	Pb 2+	643,6
Grafeno tridimensional/δ-MnO2	Cd 2+	250,31
Grafeno tridimensional/δ-MnO2	Cu 2+	228,46
MWCNT oxidado con ácido nítrico	Au 3+	62,3
Nanopartículas magnéticas de Ferrita De Manganeso	Pb 2+	673
Nanopartículas magnéticas de Ferrita De Manganeso	As 3+	146
Nanopartículas magnéticas de Ferrita De Manganeso	As 5+	207
Nanopartículas poliméricas Fe/Al	As 5+	40
Nanopartículas poliméricas Fe/Al	F 1-	100

Nota: Esta tabla muestra las eficiencias de remoción por medio del método de adsorción utilizando la nanotecnología.

4.3. Membranas

La ciencia en la que se basa esta técnica se ha usado extensamente en la remoción de metales pesados en el agua, es popular por su eficiencia en esto, por su bajo coste de fabricación, su rentabilidad operacional, la alta eficiencia de dividirse de la fase líquida (la cual es mejor que la de un adsorbente magnético), la conservación de la energía, y la selectividad ante eliminación de metales y la nanotecnología ha llegado en forma de rellenos de nanopartículas inorgánicas, sílice mesoporosa, nanopartículas de zeolita, nanotubos de halloysita, nanotubos de carbón, entre otros. Aquí los criterios fundamentales para evaluar una membrana son:

- Concentración inicial
- Tiempo de filtración
- Presión de filtración
- Calculo del módulo de Thiele, es decir, la relación entre la velocidad de reacción y la velocidad de difusión

Ahora, teniendo en cuenta los principales mecanismos de las membranas que se usan para la eliminación de metales, se hablará cuáles han sido esas propiedades han logrado mejorar con la ayuda de la nanotecnología, por medio de ejemplos:

- La ultrafiltración: La manera original de este proceso no permite remover iones de metales pesados por el tamaño de estos que es menor al de los poros de la membrana, por eso en este caso se usaron membranas de Polisulfona (PSF) con nanopartículas de Zeolita (PSF10), quienes tienen un excelente efecto de hidratación, un buen rendimiento frente al intercambio de iones y una distribución porosa bien definida, teniendo como resultados 19nm más en el radio del poro, una mejor hidrofiliidad por consiguiente aumentó la permeabilidad hidráulica alrededor de un 40%, al filtrarse aproximadamente por 2 horas con la capacidad máxima inicial, incrementó la capacidad de absorción de cationes de níquel y plomo y al ir por un quinto ciclo se empleó NaCl como desorbente, donde la capacidad de la membrana se conservó entre un 77% y un 92%, lo cual es bueno y se concluyó una mejora en el rendimiento frente a la PSF común.
- La nanofiltración: Tiene desventajas como la baja eficiencia de división, la resistencia de química y el ensuciamiento de la membrana, que al incorporar en la capa activa de la membrana en su proceso nanoesferas de $\text{Al}(\text{OH})_3$ con propiedades importantes como su

resistencia térmica, su alto rendimiento de dispersión y la fuerte energía superficial, esto hizo que incrementara tanto el flujo de agua limpia (por la hidrofilia), el rendimiento antiincrustante y la separación del $MgSO_4$ y el cloro.

- Osmosis inversa: Se hicieron unas membranas de grafeno nanoporoso funcionalizadas con grupos funcionales logrando separar sales, tanto la eficiencia como el flujo de agua varía dependiendo del grupo funcional pero logra mejorar la permeabilidad mínima entre unas 4 a 5 veces más que la técnica normal y aunque falta investigación se ve prometedor en cuanto a residuos industriales.
- Osmosis directa: Se realizó una membrana inorgánica de película fina nanoporosa para remover metales pesados donde la eficiencia depende de la capacidad de los iones de metal que se tienen, menos del 90% cuando la capacidad era mayor de 600 mg/L y casi un 94% para una capacidad de 200 mg/L. Y terminaron concluyendo que era por la compensación del tamaño de los poros de la membrana, siendo que a mayor tamaño de estos mejor será el flujo del agua y menor la selectividad.

Las lecturas permitieron dividir en tres categorías de contaminantes: metales pesados, sales y sólidos, que van a ser nombradas:

REMOCIÓN DE ACEITE: El uso de grafeno como membranas se evalúa como potencial para el tratamiento de aguas residuales y/o desalinización de aguas, de tal manera realizó mejoras a las membranas tradicionales como a las poliméricas convencionales, zeolitas y demás. Los nano-canales de óxido de grafeno muestran capacidad de sintetizarse con nanocanales 2D para que se realice una selección selectiva de las moléculas de agua y de esta manera poder transportar el agua con condiciones operacionales variables, el paso de las moléculas de H_2 y O_2 dependen del tamaño de los poros de los nanocanales, la química de los poros y funcionalización de los mismos. Por medio de monocapas de grafeno se funcionalizan iones con los nanoporos cargados negativamente ayudando al flujo de los cationes y al llegar a estar cargados positivamente ayudan al flujo de aniones y de esta manera desalinizando las aguas residuales [37, 38]. En un caso de estudio crearon membranas de óxido de grafeno (GO) funcionalizadas con poliacrilonina aminada la cual dio como resultado una efectiva retención del aceite en un 98% [39].

Los nanopolvos de Titanio se utilizan para áreas de las membranas cerámicas, como la sílice, la alúmina, las zeolitas y el carbón activado siendo más estables que los polímeros bajo la luz UV y en presencia de especies reactivas de oxígeno [40], 3 recubrimientos por inmersión son

suficientes para producir una capa de piel sin deficiencias (0,9 mm de espesor); siendo correcto que haya más capas proporcionando un área más grande activa, cada capa aumenta el precio de procesamiento [41], la capa de revestimiento tiene una resistencia insignificante y la permeabilidad de la membrana no cambió. La composición de estas cintas es bastante porosa e interconectada, lo cual posibilita una enorme área como para la adsorción como para la actividad fotocatalítica en el área del titanio. La membrana resultante tiene una permeabilidad al agua de $6,71 \text{ L m}^2 / \text{bar h}$ y cualquier corte de peso molecular de 12 kDa [40]. En un caso de estudio se depositaron NTC sobre una membrana cerámica a través de vapor químico con el fin de integrar la función de los canales de poros cerámicos y los poros crecidos de los nanotubos de carbón, este experimento tuvo como resultado una eficiencia de 100% para el rechazo del aceite y a una tasa de flujo de 36 L/hm^2 [42].

Las membranas poliméricas porosas disponibles en el mercado con una capa de titanio, filtrando una suspensión de nanopartículas por medio de la aplicación de irradiación UV/vis y demostrando una fotodegradación elevada (4-nitrofenol) [43]. Membranas "autolimpiantes" con la adición de nanopartículas de titanio; el aseo, de esta forma como el alto flujo que observan en la aplicación de UV se atribuyen a 2 fenómenos concurrentes: la fotocatalisis y la ultrahidrofobicidad [44]. Para minimizar la inevitable degradación por UV catalizada por el titanio de las partes orgánicas de las membranas convencionales, prepararon membranas autolimpiantes de PA/titania con soporte de polisulfona impregnada (PSf) por medio de polimerización interfacial, que tienen dentro una capa de dióxido de silicio en medio de las capas de PA y titanio reticuladas. La recuperación de flujo luego de 15 h de manejo siendo cada 3 h la limpieza de agua con exposición a rayos ultravioleta es superior al 98% en la situación de estas membranas fotocatalíticas, de manera significativa mayor a las membranas estándar de procesamiento de agua. Igualmente descubrieron un polímero nanoestructurado a base de estireno, divinilbenceno, persulfato de potasio, sorbitán monooleato el cual se dio un uso en forma de láminas (membranas) con el fin de eliminar aceites encontrados en las aguas producidas, obteniendo una eficiencia de 99.75% en un tiempo de 75 minutos [45].

REMOCIÓN DE SOLIDOS: Realizaron una nanofiltración por medio de dos membranas de película muy fina comerciales (NF270 y NF90) y otra de osmosis inversa, con aguas producidas de Estados Unidos, el experimento se basó en un antes y después de las membranas por medio de características especiales como la adsorción de material orgánico e inorgánico durante esta filtración, ángulo de contacto y el barrido de emisión de campo de las virtudes que tiene usar este tipo de filtración a escala nanométrica fue el no requerir agregar químicos.

Teniendo en cuenta las membranas de nanofiltración, la NF270 por sus características resultó ser la de menor disminución ante el flujo de permeado, pero al final todo dependerá de la condición del agua que se tenga, encontrando el mejor rendimiento, siendo así una buena alternativa para el tratamiento de agua producida [46].

REMOCIÓN DE SALES: La zeolita se estudió para emplear en las membranas en donde la desalinización por ósmosis inversa de salmuera mostro cosas importantes, ciertos materiales de zeolita habituales empleados en las membranas incluyen el tipo MFI, sodalita y Linde Tipo A (LTA). La magnitud de los poros y la densidad residual son los componentes primarios de inquietud al tener en cuenta las zeolitas para la limpieza de agua; la magnitud del poro determina la selectividad de los iones y la densidad determinan la movilidad del agua. A partir de que la función cualquier tamiz molecular se debe a la anchura de sus canales, siendo las zeolitas minerales aluminosilicatos naturales se visualiza el cambio de los átomos de silicio y aluminio en número, a lo que se le llama marco y por consiguiente el canal cambiará las características del tamiz. Además, tanto la movilidad de los iones y las moléculas de agua por medio de una zeolita están sujetas a la densidad relativa de la composición del marco; resultando la membrana de Linde tipo A la mejor con los poros abiertos que suministran menos trabas al movimiento del agua pero restándole la movilidad a la sal. Otros aplican membranas de zeolita de tipo MFI (grosor z 3 mm) para la desalinización por ósmosis inversa (con una solución de 0,1 M de NaCl a 2,07 MPa). La reducción del rechazo se atribuye a la compresión de doble capa en los poros inter cristalinos del material de zeolita gracias a la alta resistencia iónica de la solución, otro análisis con membranas MFI semejantes informa de valores de flujo y rechazo más elevados (>95% de iones Na⁺). La más grande presión de la transmembrana aumenta el de agua y el rechazo de iones observado, lo cual da sitio a cualquier mejor rendimiento de división, esto se debería a la reducción de la viscosidad de la solución y al crecimiento de la difusividad de las moléculas de agua y los iones de sal. Aun cuando estas membranas sirvieron como prueba de criterio, es necesario más cantidad de agua y más grande rechazo de sal para que las membranas de OI fundamentadas en IMF sean comercialmente viables [40].

4.4. Fotocatalizadores

La biodegradabilidad de sustancias bastante descomponibles puede aumentarse en una fase de pre tratamiento. Debido a que, la brecha de la banda (Eg) del TiO₂ emprende la ampliación.

En el nanorango ($d = 0,08$), tienen la posibilidad de intervenir más sustratos orgánicos probables en los procesos redox según los criterios necesarios de la fotocatalisis, que son:

- La baja eficiencia de los fotones (limitan el uso industrial)
- La brecha de la banda se ha desplazado a una menor energía
- Utilización de cualquier espectro más extenso en la luz del sol

Análisis muestran que para mejorar el rendimiento de las nanopartículas de TiO_2 , los nanotubos de TiO_2 y el de dopaje con metales nobles son 25-40% más eficientes al tratamiento habitual [48]. Varios conjuntos de averiguación estuvieron investigando la mezcla de división y procesos catalíticos usando cualquier reactor fotocatalítico de membrana para purificar el agua y retener las partículas catalíticas [47, 49]. La oxidación fotocatalítica es cualquier proceso de degradación avanzado para la supresión de trazas de contaminantes, patógenos y compuestos orgánicos como el tinte, que no se biodegradan de forma fácil en las plantas de procesamientos convencionales.

4.5. Antimicrobianos

Estos se definen como el control del incremento de microbios por medio de la sanitización, la reducción del desarrollo y para defender el agua en este caso u otras sustancias químicas por contaminación, ensuciamiento o deterioro provocado por bacterias, virus, hongos, protozoos, algas o limo. De las averiguaciones llevadas en las últimas décadas, revelaron un dilema entre la sanitización positiva y la formación de subproductos de la sanitización, ya que, tienen la posibilidad de reaccionar con otros elementos en el agua y producir subproductos de desinfección nocivos [14]. Expertos de dos entidades importantes de Colombia, Ecopetrol y la Universidad de Santander generaron una investigación para el agua de inyección a base de biología molecular donde encontraron 200 ADN de diferentes bacterias que podrían causar corrosiones dañando la construcción petrolera base y/o bajando la producción y acidificaciones como el ácido sulfúrico, acidificando el crudo y generando mayores costos debido a necesitar mayor tratamiento, teniendo en cuenta lo anterior, si el agua de producción no es bien tratada ante estos microorganismos y se usa en este segundo proceso, se haría un daño económico [50].

Se mencionan generalmente el TiO_2 , Zinc y los nanotubos de carbón:

Las nanopartículas de TiO_2 es un elemento de gran prospectiva para la remediación de los microbios inactivos presentes en las aguas residuales, lo hace por medio de la generación de

especies reactivas de oxígeno (ROS), por lo general son radicales libres de hidroxilo y peróxidos formados bajo irradiación UV-A [75]. También existe una gran absorbancia por medio de los UV-A de TiO_2 bajo radiación solar, mejora drásticamente la desinfección, sin embargo es un proceso mucho más lento y se da por la pequeña fracción de UV-A en la radiación solar, en base a esto se han realizado investigaciones sobre el dopaje con metales para mejorar la absorbancia de luz visible de TiO [14].

Las nanopartículas de zinc presentan una gran capacidad de absorción de UV, de igual manera tienen unas excelentes acciones para combatir un amplio rango de bacterias encontradas en las aguas residuales. A pesar de las investigaciones realizadas no se ha encontrado una claridad sobre los efectos resultantes por medio de esta nanopartícula debido a que en los experimentos realizados se han visto reflejados resultados totalmente opuestos como lo fue en el tamaño ideal de las nanopartículas además de ello, también se encontró que los organismos acuáticos tienen gran sensibilidad al encontrarse con el zinc disuelto [51, 52]. No obstante, hay la necesidad de desarrollar novedosas formulaciones fundamentadas en nanopartículas que sean estables, robustas y duraderas, y que sean efectivas en la devastación o supresión de bacterias y virus. Algunos estudios preliminares han indicado que las nanopartículas de ZnO a una concentración de entre 3 y 10 mM produjo 95% inhibición del incremento bacteriano como consecuencia de una acumulación intracelular acumulada de nanopartículas [51].

Los nanotubos de carbono poseen características para extraer las bacterias eficazmente dependiendo del tamaño de la misma, estas se inactivan gracias a los nanotubos de tal manera que se oxidan las bacterias y virus encontrados, para acelerar este proceso se puede generar una pequeña cantidad de voltaje intermitente [53, 54]. Por demostración, si se inmovilizan los nanotubos de paredes simples (SWNT) en la parte externa del filtro de la membrana, da un 87% a la eliminación del *E. Coli* en un aproximado de 120 minutos.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

5.1. Pregunta de investigación

¿Cuáles son los beneficios que aporta la nanotecnología para avances en la industria petrolera?

5.2. Justificación

El desarrollo de la nueva era de la tecnología da pie a la nanotecnología, quien hoy en día se ha convertido en una fuente principal de investigaciones para la industria petrolera, por medio de ella brindar opciones de mejores los procesos convencionales para la eliminación de los contaminantes encontrados en las aguas de producción y residuales, de tal manera se busca por medio de este trabajo brindar información complementaria de cada desarrollo ejercido hasta la fecha de los componentes evaluados y la efectividad encontrada, realizando un análisis de los beneficios de cada tratamiento. Es de resaltar que las industrias día tras día buscan el cuidado del medio ambiente y el aprovechamiento de materia prima que brinda beneficios extraordinarios que otros elementos no llegan a poseer.

5.3. Hipótesis

Con el desarrollo de este trabajo se tendrá una mayor claridad de cada avance encontrado en los métodos y procesos que se realizan a las aguas de producción y a las residuales, que generan el progreso del uso de la nanotecnología en la industria petrolera. De tal manera introducir y entender este nuevo campo de la tecnología que en los últimos años ha tenido un gran desarrollo. Encontrando los cambios y beneficios presentados por la nanotecnología a diferencia de los procesos tradicionales encontrados en la industria.

5.4. Objetivos

5.4.1. Objetivo general

Realizar una revisión crítica acerca del uso de la nanotecnología para el tratamiento de las aguas de producción en la industria petrolera

5.4.2. Objetivos específicos

1. Investigar los avances tecnológicos en el proceso de tratamiento de aguas de producción con base a la nanotecnología.

2. Clasificar la información encontrada de acuerdo al nanomaterial utilizado y el contaminante a remover.
3. Analizar los efectos y beneficios de cada proceso.

6. METODOLOGÍA

En primera instancia para el desarrollo de esta investigación y dar cumplimiento al primer objetivo específico, se recopiló información relacionada con los tratamientos de agua en provecho de la nanotecnología, indagando los diversos procedimientos de mayor relevancia utilizados para esta técnica, en los que se destacaron principalmente 4 alternativas, como lo son; Adsorción, membranas, fotocatalizadores y antimicrobianos. Al obtener toda la data relacionada a estos temas se dio uso de la plataforma de *Google Documents* en donde se adjuntó los archivos de mayor interés. En el progreso de la búsqueda, se utilizaron las herramientas brindadas por la Universidad de América entre otras para la adquisición de la información, en las revistas como ScienceDirect, ACS Publications y Onepetro fueron en las que se encontró mejores resultados.

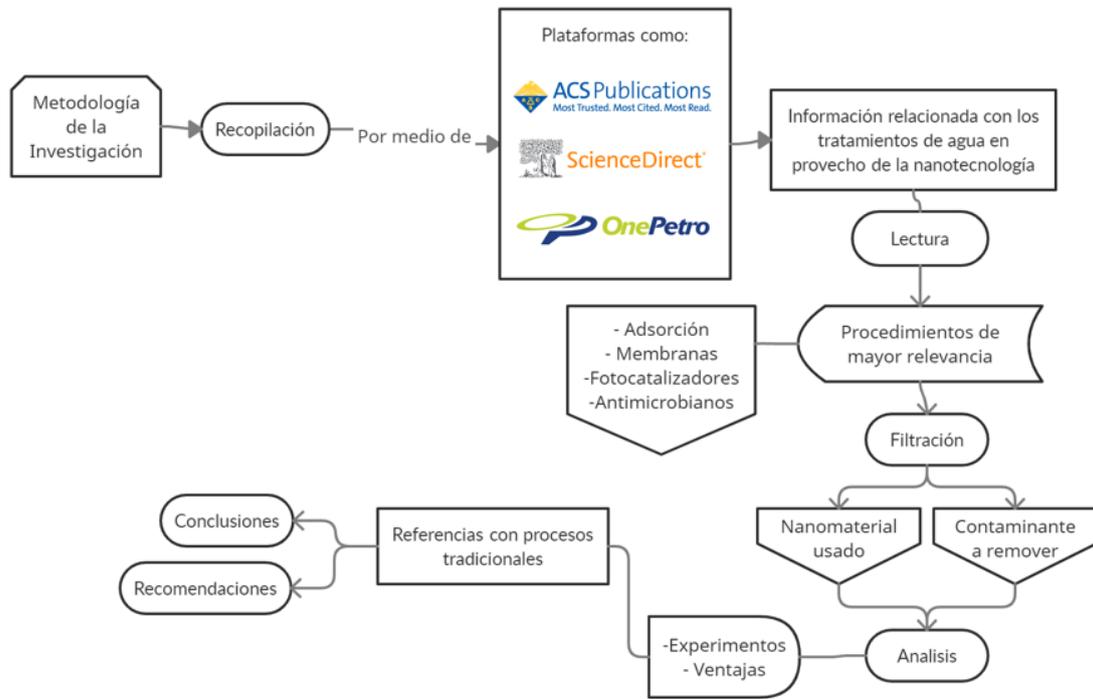
De igual manera para el cumplimiento del segundo objetivo se realizó una filtración de la información ya obtenida por medio de las revistas nombradas anteriormente, por lo que se mantuvieron dos parámetros iniciales como lo fueron; nanomaterial utilizado y contaminante a remover, con base a esto, se clasificó ordenadamente el cuerpo del trabajo, destacando las ventajas de cada método y los experimentos realizados hasta la fecha.

Por último y en cumplimiento del tercer objetivo se realizaron los análisis correspondientes de los resultados obtenidos de cada método, especificando los beneficios y ventajas de dichos procesos, sin embargo para destacar sus efectividades de los procesos se mantuvo como referencia algún proceso tradicional, y a partir de eso brindar al lector unas conclusiones del desarrollo del trabajo realizado y además las recomendaciones de futuras investigaciones destacando el proyecto inicialmente planteado.

Es importante aclarar que debido a la situación de contingencia sanitaria actual se realizaron modificaciones en el proyecto práctico planteado anteriormente, el cual se realizaría en laboratorios, de acuerdo a lo anterior se logró hacer cambios en el planteamiento del anteproyecto como en los objetivos, delimitación y título volviendolo investigativo para mantener toda protección sobre la salud.

Figura 1.

Diagrama de flujo de la metodología



7. RESULTADOS

7.1. Beneficios de los tratamientos de agua

La integración de la nanotecnología en la industria petrolera ayuda al desarrollo de los tratamientos más efectivamente, debido a la ventaja presentada en donde por el tamaño de sus materiales da algunos cambios de las propiedades ofreciendo mejores estándares de calidad y cumplimiento de las normas en vigencia, para así reutilizar este recurso o llevarlo a su disposición final, por tal motivo han realizado estudios en el tratamiento de aguas en donde las nanopartículas juegan un papel importante para la eliminación de los componentes tóxicos y corrosivos encontrados en las aguas residuales, ayudando a purificarlas a un menor costo operativo.

Las investigaciones realizadas hasta la fecha de todos los avances tecnológicos en base a la nanotecnología nos ha brindado un enorme progreso para la remoción de contaminantes encontrados en las aguas residuales, por lo que ha generado cambios en los tratamientos, con el fin de mejorar aquellas limitaciones o dificultades de los procesos tradicionales.

Refiriéndose al método de adsorción, el cual es uno de los más comunes de la industria, se reflejan grandes avances en su eficacia, al realizar una comparación entre utilizar nanotubos de carbón oxidados con HNO_3 y carbón activado para la eliminación del Pb^{+2} se evidencia una mejoría en el tiempo de equilibrio pasando de 120 minutos a 20 minutos [55].

Otro aporte ofrecido de los avances adquiridos por medio de la adsorción, se encuentra que los nanotubos de carbón oxidados con plasma son mejores que los nanotubos de carbono químicamente oxidados debido a los grupos funcionales que contienen oxígeno, y a su vez pueden ser reutilizables [17] No obstante hay que destacar al grafeno que ha tenido modificaciones para la eliminación de Pb^{+2} y se ha logrado en un tiempo aproximado de 40 minutos, las ventajas obtenidas a nivel general son una mayor dispersabilidad, mayor selectividad, modificación de compuestos inorgánicos, reducen la contaminación secundaria y es posible reutilizar dicho material [56].

De igual manera existen nanotubos de carbon de pared múltiple (MWCNT) que son un desarrollo de los nanotubos de carbón de pared simple (SWCNT) y ha ilustrado respuestas gratificantes para la eliminación de Au (III), en un experimento de la Universidad King Abdulaziz utilizaron MWCNT oxidado con ácido nítrico concentrado para la eliminación de

este contaminante obteniendo una remoción entre 99.2 a 100% que a diferencia del proceso tradicional por medio de cáscara de nuez no ha sido posible estos resultados [57].

Las nano zeolitas también han sido mejoradas al ser funcionalizadas con tensioactivos catiónicos, su función principal ha sido la eliminación de contaminantes cancerígenos y aniones nocivos [30].

En un estudio realizado se utiliza la zeolita modificada con Mg para la eliminación de Cd^{+2} manejando un tamaño de poros entre 40 a 50 nm y a un pH de 7.0 se obtiene una eliminación mayor al 98% del contaminante, y al ser comparadas con las zeolitas que fueron modificadas con K y Na se alcanza una remoción de 1.5 superior y 2 veces mejor a diferencia de las zeolitas naturales [32].

Los nanomateriales a base de metal presentan buen desempeño en la remoción de contaminantes, como lo es un ejemplo claro la Goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$) funcionalizado con hidroxilo que ha ayudado a remoción de 60.6 mg/g de As (V) de una agua residual, manejando un pH de 7.0, y con la ayuda de NaOH se puede regenerar el nano adsorbente [58]. Además al comparar la nanomagnetita y TiO_2 su remoción es más eficiente que el carbón activado [59].

Las nanopartículas magnéticas presentan características que ayudan a la recuperación fácil del nano adsorbente, por medio de un campo magnético externo y ha sido comprobado por la Administración de Drogas Y Alimentos de los Estados Unidos en los que beneficia el rendimiento de materia prima, del mismo es posible por el cambio de la propiedad de magnética a superparamagnética que se obtiene al manejar estas nanopartículas con un tamaño inferior de 40 nm aumentando su eficiencia de adsorción.

Relacionándose a la reutilización de material, se encuentran diferencias abismales de los nano adsorbentes con respecto a materiales convencionales, siendo comprobado que los nanotubos redujeron su sorción en un 25% después de reutilizarse durante 10 ciclos, mientras que el carbón activado al usarse por segunda vez redujo en más del 50% [60].

El continuo desarrollo de la ciencia, acompañado de avances tecnológicos han propiciado un progreso significativo de la ingeniería, los resultados obtenidos de la ciencia aplicada a las membranas, fenómenos de división y/o purificación han llevado a muchos más científicos a profundizar esta área de investigación, implementando tecnologías que paulatinamente han logrado mostrar resultados óptimos con mayor claridad para la correcta interpretación por parte de su público de interés.

La nano-filtración por membranas es de los procesos más importantes por división de las mismas, ya que cubre cualquier dominio de las ciencias ambientales por extenso que sea, esta tecnología es aplicable al tratamiento de aguas residuales y al tratamiento del agua potable. La fotocatalisis ha sido otro proceso importante, que ha mostrado un gran potencial, aminorando costos, además, siendo un proceso sustentable y respetuoso con el medio ambiente gracias al uso de nanotecnología, sin embargo, no dejan de presentarse algunas amenazas técnicas en su aplicación a gran escala por ello deben realizarse las respectivas mejoras a los catalizadores de manera que se vea reflejado en una mejoría del rendimiento cuántico, también optimizar técnicas para la recuperación de catalizadores o tener en cuenta qué se puede promover el proceso de degradación por vías mediadas por los radicales, ya que algunos nanomateriales promueven la descomposición del ozono en radicales hidroxilo; la sanitización solar concedida por nanotecnología se ha ensayado extensamente y parece ser una alternativa posible para generar agua potable segura en regiones remotas de las Naciones en desarrollo. Las nanopartículas antimicrobianas hoy en día han tenido un desarrollo sustancial con respecto a la eliminación de patógenos, bacterias, virus y microorganismos encontrados, sin embargo las nanopartículas de Zn no han tenido efectos gratificantes debido a que se encontraron resultados distintos en varios experimentos, por lo que aún se realizan análisis que determinen la efectividad real de su proceso.

Todos los avances científicos y tecnológicos permanecen en constante evolución, mostrando al mundo muchos secretos de la ciencia que permanecían ocultos por falta de precisión en el momento de su aplicación; este tema es sumamente extenso y amerita ahondar más en él, ya que tiene un gran alcance en lo que corresponde a la sostenibilidad ambiental y no es posible tener en cuenta el total de las variables tanto endógenas como exógenas, que pueden llevar a corroborar o desmentir algunas aseveraciones expresadas en el presente documento.

8. CONCLUSIONES

La nanotecnología brinda un mayor potencial a la industria, brindando a los materiales diferentes propiedades por las cuales se obtendrán grandes beneficios como la disminución de contaminantes, costos, tiempos e incluso materia prima, haciendo posible la reutilización de dichos tratamientos para las nuevas generaciones petroleras.

Los nano-adsorbentes generan reducción de la materia prima por su reutilización de material en el que varios estudios comprueban su uso continuo, obteniendo gratificantes resultados y así mismo permitiendo realizar la comparación con el carbón activado para demostrar su mayor eficiencia.

Teniendo en cuenta que la nanotecnología influye de manera positiva, se observa que la adsorción sería el mejor tratamiento debido a que es posible trabajarlo en un amplio rango de materiales, tales como óxidos metálicos, nanotubos de carbón, grafeno y nanocompuestos.

La implementación de esta nueva tecnología en el desarrollo del tratamiento de aguas, mejora las remociones de los contaminantes que afectan la integridad del ser humano y el medio ambiente, disminuyendo costos operativos por distintas razones como lo es la reutilización de nanomateriales, la fácil recuperación de nanopartículas y la reducción de la contaminación secundaria.

De acuerdo a los estudios realizados a lo largo de las generaciones en la industria, se compromete a futuro a las petroleras para que den uso de la nanotecnología para el desarrollo de los procesos de limpieza y/o tratamiento de aguas, enfatizando en buscar procesos eficientes y económicos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Y. Zhang et al., "Nanomaterials-enabled water and wastewater treatment," *NanoImpact*, vol. 3-4, pp. 22-39, 2016/07/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2016.09.004>
- [2] F. Petronella et al., "Nanocomposite materials for photocatalytic degradation of pollutants," *Catalysis Today*, vol. 281, pp. 85-100, 2017/03/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.05.048>.
- [3] S. Song et al., "Impacts of Morphology and Crystallite Phases of Titanium Oxide on the Catalytic Ozonation of Phenol," *Environmental Science & Technology*, vol. 44, no. 10, pp. 3913-3918, 2010/05/15 2010, doi: 10.1021/es100456n.
- [4] A. Turki, C. Guillard, F. Dappozze, Z. Ksibi, G. Berhault, and H. Kochkar, "Phenol photocatalytic degradation over anisotropic TiO₂ nanomaterials: Kinetic study, adsorption isotherms and formal mechanisms," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 163, pp. 404-414, 2015/02/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.08.010>.
- [5] Sites Google. (s.f.). "Nanotecnología". [En línea]. Nanotecnología (google.com)
- [6] B. Pan and B. Xing, "Adsorption Mechanisms of Organic Chemicals on Carbon Nanotubes," *Environmental Science & Technology*, vol. 42, no. 24, pp. 9005-9013, 2008/12/15 2008.
- [7] S. L. Mesa, J. M. Orjuela, A. T. Ortega, J. A. Sandoval, "Revisión del panorama actual del manejo de agua de producción en la industria petrolera colombiana" *Gestión y Ambiente* 21(1), 87-98, 2018
- [8] S. A. Younis, H. A. Maitlo, J. Lee, and K.-H. Kim, "Nanotechnology-based sorption and membrane technologies for the treatment of petroleum-based pollutants in natural ecosystems and wastewater streams," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 275, p. 102071, 2020/01/01/ 2020.
- [9] L. Liu, X.-B. Luo, L. Ding, and S.-L. Luo, "4 - Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal From Water," in *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*, X. Luo and F. Deng Eds.: Elsevier, 2019, pp. 83-147.
- [10] B. S. Al-anzi and O. C. Siang, "Recent developments of carbon based nanomaterials and membranes for oily wastewater treatment," *RSC Advances*, 10.1039/C7RA02501G vol. 7, no. 34, pp. 20981-20994, 2017.

- [11] S. A. Younis, H. A. Maitlo, J. Lee, and K.-H. Kim, "Nanotechnology-based sorption and membrane technologies for the treatment of petroleum-based pollutants in natural ecosystems and wastewater streams," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 275, p. 102071, 2020/01/01/ 2020.
- [12] Asociación Ibérica de la Fotocatálisis, "¿Qué es la fotocatalisis?". [En Línea]. Disponible: www.fotocatalisis.org/que-es-la-fotocatalisis.html
- [13] P. Pal, "Chapter 7 - Nanotechnology in Water Treatment," in *Industrial Water Treatment Process Technology*, P. Pal Ed.: Butterworth-Heinemann, 2017, pp. 513-536.
- [14] Q. Li et al., "Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications," *Water Research*, vol. 42, no. 18, pp. 4591-4602, 2008/11/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.015>.
- [15] F. Hossain, O. J. Perales-Perez, S. Hwang, and F. Román, "Antimicrobial nanomaterials as water disinfectant: Applications, limitations and future perspectives," *Science of The Total Environment*, vol. 466-467, pp. 1047-1059, 2014/01/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.009>.
- [16] S. Babel and T. A. Kurniawan, "Various treatment technologies to remove arsenic and mercury from contaminated groundwater: An overview," *Proceedings of the First International Symposium on Southeast Asian Water Environment*, pp. 433-440, 01/01 2003.
- [17] A. E. Burakov et al., "Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 148, pp. 702-712, 2018/02/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.034>.
- [18] T. Karthikeyan, L. R. Rajgopal S Fau - Miranda, and L. R. Miranda, "Chromium(VI) adsorption from aqueous solution by Hevea Brasilinesis sawdust activated carbon," (in eng), no. 0304-3894 (Print).
- [19] A. Kongsuwan, P. Patnukao, and P. Pavasant, "Binary component sorption of Cu(II) and Pb(II) with activated carbon from Eucalyptus camaldulensis Dehn bark," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry - J IND ENG CHEM*, vol. 15, pp. 465-470, 07/01 2009, doi: [10.1016/j.jiec.2009.02.002](https://doi.org/10.1016/j.jiec.2009.02.002).
- [20] W. C. Leung, M.-F. Wong, H. Chua, W. Lo, P. H. F. Yu, and C. K. Leung, "Removal and recovery of heavy metals by bacteria isolated from activated sludge treating

- industrial effluents and municipal wastewater," *Water Science and Technology*, vol. 41, no. 12, pp. 233-240, 2000, doi: 10.2166/wst.2000.0277.
- [21] X. Qu, P. J. J. Alvarez, and Q. Li, "Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment," *Water Research*, vol. 47, no. 12, pp. 3931-3946, 2013/08/01/2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.058>.
- [22] R. R. Karri, S. Shams, and J. N. Sahu, "4 - Overview of Potential Applications of Nano-Biotechnology in Wastewater and Effluent Treatment," in *Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment*, A. Ahsan and A. F. Ismail Eds.: Elsevier, 2019, pp. 87-100.
- [23] C. Luo, Z. Tian, B. Yang, L. Zhang, and S. Yan, "Manganese dioxide/iron oxide/acid oxidized multi-walled carbon nanotube magnetic nanocomposite for enhanced hexavalent chromium removal," *Chemical Engineering Journal*, vol. 234, pp. 256-265, 2013/12/01/2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.08.084>.
- [24] X. Zhao, Q. Jia, N. Song, W. Zhou, and Y. Li, "Adsorption of Pb(II) from an Aqueous Solution by Titanium Dioxide/Carbon Nanotube Nanocomposites: Kinetics, Thermodynamics, and Isotherms," *Journal of Chemical Engineering Data*, vol. 55, no. 10, pp. 4428-4433, 2010/10/14 2010, doi: 10.1021/je100586r.
- [25] S.-G. Wang, W.-X. Gong, X.-W. Liu, Y.-W. Yao, B.-Y. Gao, and Q.-Y. Yue, "Removal of lead(II) from aqueous solution by adsorption onto manganese oxide-coated carbon nanotubes," *Separation and Purification Technology*, vol. 58, no. 1, pp. 17-23, 2007/12/01/ 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.07.006>.
- [26] A. Afkhami, M. Saber-Tehrani, and H. Bagheri, "Simultaneous removal of heavy-metal ions in wastewater samples using nano-alumina modified with 2,4-dinitrophenylhydrazine," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 181, no. 1, pp. 836-844, 2010/09/15/ 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.089>.
- [27] T. Sheela, Y. A. Nayaka, R. Viswanatha, S. Basavanna, and T. G. Venkatesha, "Kinetics and thermodynamics studies on the adsorption of Zn(II), Cd(II) and Hg(II) from aqueous solution using zinc oxide nanoparticles," *Powder Technology*, vol. 217, pp. 163-170, 2012/02/01/ 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.10.023>.
- [28] Siahkamari, Mohsen., Jamali, Abbas., Sabzevari, Alireza., & Shakeri, Alireza., Removal of Lead(II) ions from aqueous solutions using biocompatible polymeric nano-adsorbents: A comparative study. *Carbohydrate Polymers* <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.085>

- [29] Wang S, Peng Y. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chem Eng J* 2010;156(1):11-24.
- [30] Z. Li and R. S. Bowman, "Sorption of Chromate and PCE by Surfactant-Modified Clay Minerals," *Environmental Engineering Science*, vol. 15, no. 3, pp. 237-245, 1998/01/01 1998, doi: 10.1089/ees.1998.15.237.
- [31] L. R. Rad, A. Momeni, B. F. Ghazani, M. Irani, M. Mahmoudi, and B. Nogreh, "Removal of Ni²⁺ and Cd²⁺ ions from aqueous solutions using electrospun PVA/zeolite nanofibrous adsorbent," *Chemical Engineering Journal*, vol. 256, pp. 119-127, 2014/11/15/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.066>.
- [32] H.-J. Choi, S.-W. Yu, and K. H. Kim, "Efficient use of Mg-modified zeolite in the treatment of aqueous solution contaminated with heavy metal toxic ions," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 63, pp. 482-489, 2016/06/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.03.005>.
- [33] C. A. Franco, F. B. Cortés, and N. N. Nassar, "Adsorptive removal of oil spill from oil-in-fresh water emulsions by hydrophobic alumina nanoparticles functionalized with petroleum vacuum residue," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 425, pp. 168-177, 2014/07/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.03.051>.
- [34] C. A. Franco, N. N. Nassar, and F. B. Cortés, "Removal of oil from oil-in-saltwater emulsions by adsorption onto nano-alumina functionalized with petroleum vacuum residue," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 433, pp. 58-67, 2014/11/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.07.011>.
- [35] J. P. Villegas, N. Arcila, D. Ortega, C. A. Franco, and F. B. Cortés, "Remoción de hidrocarburos de aguas de producción de la industria petrolera utilizando nanointermedios compuestos por SiO₂ funcionalizados con nanopartículas magnéticas," *DYNA*, vol. 84, pp. 65-74, 2017.
- [36] J. Ma, J. Xiao R Fau - Li, J. Li J Fau - Yu, Y. Yu J Fau - Zhang, L. Zhang Y Fau - Chen, and L. Chen, "Determination of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons in environmental water samples by solid-phase extraction using multi-walled carbon nanotubes as adsorbent coupled with gas chromatography-mass spectrometry," (in eng), no. 1873-3778 (Electronic).
- [37] Lv Y, Liu H, Wang Z, Liu S, Hao L, Sang Y, et al. Silver nanoparticle-decorated porous ceramic composite for water treatment. *J Membr Sci* 2009;331:50-6

- [38] Kim J, der Bruggen BV. The use of nanoparticles in polymeric and ceramic membrane structures: review of manufacturing procedures and performance improvement for water treatment. *Environ Pollut* 2010;158:2335-49.
- [39] J. Zhang et al., "Graphene oxide/polyacrylonitrile fiber hierarchical-structured membrane for ultra-fast microfiltration of oil-water emulsion," *Chemical Engineering Journal*, vol. 307, pp. 643-649, 2017/01/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.124>.
- [40] M. M. Pendergast and E. M. V. Hoek, "A review of water treatment membrane nanotechnologies," *Energy; Environmental Science*, 10.1039/C0EE00541J vol. 4, no. 6, pp. 1946-1971, 2011, doi: 10.1039/C0EE00541J
- [41] H. Choi, E. Stathatos, and D. D. Dionysiou, "Sol-gel preparation of mesoporous photocatalytic TiO₂ films and TiO₂/Al₂O₃ composite membranes for environmental applications," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 63, no. 1, pp. 60-67, 2006/03/22/ 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2005.09.012>.
- [42] X. Chen, L. Hong, Y. Xu, and Z. W. Ong, "Ceramic Pore Channels with Inducted Carbon Nanotubes for Removing Oil from Water," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 4, no. 4, pp. 1909-1918, 2012/04/25 2012, doi: 10.1021/am300207b.
- [43] R. Molinari et al., "Study on a photocatalytic membrane reactor for water purification," *Catalysis Today*, vol. 55, no. 1, pp. 71-78, 2000/01/05/ 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(99\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(99)00227-8).
- [44] S. S. Madaeni and N. Ghaemi, "Characterization of self-cleaning RO membranes coated with TiO₂ particles under UV irradiation," *Journal of Membrane Science*, vol. 303, no. 1, pp. 221-233, 2007/10/15/ 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.07.017>
- [45] A. M. A. El Naggar, M. R. Noor El-Din, M. R. Mishrif, and I. M. Nassar, "Highly Efficient Nano-Structured Polymer-Based Membrane/Sorbent for Oil Adsorption from O/W Emulsion Conducted of Petroleum Wastewater," *Journal of Dispersion Science and Technology*, vol. 36, no. 1, pp. 118-128, 2015/01/02 2015, doi: 10.1080/01932691.2014.888520.
- [46] S. Mondal and S. R. Wickramasinghe, "Produced water treatment by nanofiltration and reverse osmosis membranes," *Journal of Membrane Science*, vol. 322, no. 1, pp. 162-170, 2008/09/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.05.039>.

- [47] I. Gehrke, A. Geiser, and A. Somborn-Schulz, "Innovations in nanotechnology for water treatment," (in eng), *Nanotechnology, science and applications*, vol. 8, pp. 1-17, 2015, doi: 10.2147/NSA.S43773.
- [48] M. A. Lazar, S. Varghese, and S. S. Nair, "Photocatalytic Water Treatment by Titanium Dioxide: Recent Updates," *Catalysts*, vol. 2, no. 4, 2012, doi: 10.3390/catal2040572.
- [49] D. F. Ollis, "Integrating Photocatalysis and Membrane Technologies for Water Treatment," *Annals of the New York Academy of Sciences*, <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2003.tb05993.x> vol. 984, no. 1, pp. 65-84, 2003/03/01 2003, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2003.tb05993.x>.
- [50] EL TIEMPO, "Logran controlar las bacterias en los campos petroleros", 1pp
- [51] N. Jones, B. Ray, K. T. Ranjit, and A. C. Manna, "Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms," (in eng), *FEMS Microbiol Lett*, vol. 279, no. 1, pp. 71-6, Feb 2008, doi: 10.1111/j.1574-6968.2007.01012.x.
- [52] N. M. Franklin, N. J. Rogers, S. C. Apte, G. E. Batley, G. E. Gadd, and P. S. Casey, "Comparative Toxicity of Nanoparticulate ZnO, Bulk ZnO, and ZnCl₂ to a Freshwater Microalga (*Pseudokirchneriella subcapitata*): The Importance of Particle Solubility," *Environmental Science & Technology*, vol. 41, no. 24, pp. 8484-8490, 2007/12/01 2007, doi: 10.1021/es071445r.
- [53] M. S. Rahaman, C. D. Vecitis, and M. Elimelech, "Electrochemical carbon-nanotube filter performance toward virus removal and inactivation in the presence of natural organic matter," *Environmental science & technology*, vol. 46, no. 3, pp. 1556-1564, 2012.
- [54] A. S. Brady-Estévez, T. H. Nguyen, L. Gutierrez, and M. Elimelech, "Impact of solution chemistry on viral removal by a single-walled carbon nanotube filter," *water research*, vol. 44, no. 13, pp. 3773-3780, 2010.
- [55] H. Wang, A. L. Zhou, F. Peng, H. Yu, and L. Chen, "Adsorption characteristic of acidified carbon nanotubes for heavy metal Pb(II) in aqueous solution," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 466, pp. 201-206, 09/25 2007, doi: 10.1016/j.msea.2007.02.097.
- [56] F. Li, X. Wang, T. Yuan, and R. Sun, "A lignosulfonate-modified graphene hydrogel with ultrahigh adsorption capacity for Pb(ii) removal," *Journal of Materials*

- Chemistry A, 10.1039/C6TA03779H vol. 4, no. 30, pp. 11888-11896, 2016, doi: 10.1039/C6TA03779H.
- [57] L. Liu, X.-B. Luo, L. Ding, and S.-L. Luo, "4 - Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal From Water," in *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*, X. Luo and F. Deng Eds.: Elsevier, 2019, pp. 83-147.
- [58] H. Wang, A. L. Zhou, F. Peng, H. Yu, and L. Chen, "Adsorption characteristic of acidified carbon nanotubes for heavy metal Pb(II) in aqueous solution," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 466, pp. 201-206, 09/25 2007, doi: 10.1016/j.msea.2007.02.097.
- [59] J. Mayo et al., "The effect of nanocrystalline magnetite size on arsenic removal," *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 8, no. 1-2, p. 71, 2007.
- [60] C. Lu, H. Chiu, and C. Liu, "Removal of Zinc(II) from Aqueous Solution by Purified Carbon Nanotubes: Kinetics and Equilibrium Studies," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 45, no. 8, pp. 2850-2855, 2006/04/01 2006, doi: 10.1021/ie051206h.

ANEXOS

Anexo A

RECOMENDACIONES

Los avances tecnológicos realizados por la industria han traído consigo la aplicación de la nanotecnología como una opción viable para la remoción de contaminantes encontrados en las aguas de producción, sin embargo se recomienda realizar estudios en los que se reestructuren o modifiquen algunos nanomateriales utilizados tomando en consideración la dificultad de adquisición de los mismos.

Continuar con la investigación experimental planteada en primera instancia que lleva el nombre de " EVALUAR DE LA REMOCIÓN DEL HIERRO EN EL AGUA DE FLOWBACK EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES EN ROCA GENERADORA A PARTIR DE UNA NANOPARTÍCULA MAGNÉTICA CON UN FLOCULANTE NATURAL MEDIANTE LABORATORIO", la cual no fue posible continuar, en consecuencia a la contingencia sanitaria a nivel mundial, causa del COVID-19.

Anexo B

NANOTECHNOLOGY TREATMENTS FOR THE REMOVAL OF CONTAMINANTS FROM PRODUCTION WATER IN OIL FIELDS.

Talía Mosquera S. ¹, Edward Velosa O. ¹, Adriana Henao¹, Camilo A. Franco ², & Farid B. Cortes ².

1 Fundación Universidad de América

2 Grupo de Investigación Fenómenos de Superficie-Michael Polanyi, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia., caafrancoar@unal.edu.co, fbcortes@unal.edu.co

Abstract: This review collects several works that use nanotechnology in the treatment of production waters of the oil industry. Production waters contain a lot of components that must be handled from different ways, this review initially focuses on the way in which this water is contaminated and the common treatments that are developed in the industry, the following chapters explain the treatment on which each nanoexperiment has been based as the adsorption, membranes, catalysts and antimicrobial processes, the most used and that will be removed being the main objective of these review, to improve the quality and the utility of the water day by day, generating a and thus collect the necessary information that will allow us to an in-depth analysis of the above alternatives to conclude that both the Nanotechnology has helped in the efficiency of the different processes that are involved in water treatment.

Keywords: Production waters; nanomaterials; adsorption; membranes; catalysts; antimicrobials; water treatment

INTRODUCTION

The oil sector provides benefits of sustainability in humanity and growth to nations, since more than 60% of the energy comes from the processes of this industry, which should be highlighted and investigate each component that differs from it, energy efficiency is of great importance to maintain the quality of life and even improve it and is achieved by reducing pollution and the price of energy. Therefore, it is generally identified that the water production of some oil wells exceeds 90% of total production, which brings with it various elements such as oil, organic substances, suspended solids, natural radioactive material, heavy metals that are toxic and harmful to human health and the ecosystem in general, Although water production is large, the optimal renewable resource becomes scarce with the passage of time and more oil spills are evidenced by the environmental consequences, at the marine level speak of the layers that are generated of HC in the water that does not allow the entry of light affecting the development of life itself. For example, the photosynthesis of algae and taking into account

that the toxic components that abound in hydrocarbons kill many organisms, clogging their airways, among other affected species.

In order to comply with the regulations in force in each territory, the industry has eliminated oils, salts, heavy metals such as Cu, Zn, Hg, Pd, Ag, Co, As, Cd, Ni and other components by means of different conventional processes such as chemical precipitation, electrochemical elimination, coagulation, reverse osmosis, catalysis, disinfection, adsorption, disinfection and adsorption, among others, disinfection, adsorption and separation as the main methods, the latter two being the most widely used [1] and other treatments that are tertiary, since they follow treatment by means of centrifugal force and composite flotation, which are used to remove as many of the contaminants of interest as possible.

Nanotechnology is positively influenced by processes such as adsorption, which provides availability of materials such as metal oxides, carbon nanotubes, graphene and nanocomposites, so that they offer extraordinary characteristics for the removal of contaminants, facilitating their application in contrast to traditional processes. Some of the advantages offered by nanomaterials are higher affinity, easy removal, high reactivity and fast kinetics, which together decrease the reaction time and bring economic benefits to the process to achieve the removal objective. Based on already known membranes, improvements were achieved in the separation process, thanks to pragmatic nanoparticles included in the nanocomposites of the membrane, the progress with this new technology provided a superiority in properties such as porosity, mechanical stability and hydrophilicity, permeability, among others; In the same way, photocatalysis and antimicrobials achieved a notorious progress in permeability and antifouling capacity, in addition, they managed to leave static several substrates of the catalysts thanks to the nanoparticles, thus improving their stability and making it possible to estimate the effects of the nanocomposites with the photo-reactor [2]. The suppression of trace contaminants and some microbial pathogens from water had a significant progress according to the corresponding surface-to-volume ratio [3,4]. Detection is of great relevance when decontaminating water and although there are flaws in the current method, nanomaterials such as carbon nanotubes possess unique magnetic and electrochemical properties, which were incorporated into the sensors supporting guidance in trace contaminants for effective detection.

Considering the data indicating that large amounts of water contribute to the development of oil wells, the implementation of nano materials is important for a more accurate removal of those contaminants that are harmful in production waters. The materials used at the nanoscale enhance some characteristics providing a higher efficiency than traditional processes; one of its fundamental characteristics is directed to the size since it differs between 1 nm to 100 nm with unique properties, where nanointermediates, nanometals, nanoparticles and nanosensors are used, offering alternatives for future research and the development of new projects, In response to the fact that industries seek day after day to optimize processes to properly dispose of contaminated water, either by reusing it or discharging it into nearby water sources, because population growth forces us to give a better management to this natural resource that although it is renewable, due to its great demand it is not possible to dispose of it as if it were unlimited. Based on the above information, this review was aimed at compiling studies about...

2. POTENTIAL TREATMENTS FOR PRODUCTION WATER.

In the treatment of wastewater and production water is the development of processes for the removal of heavy metals such as Cu, Zn, Hg, Pd, Ag, Co, among others as oil, gas, suspended solids and/or dissolved salts and radioactive and that is done through various methods in which are conventional as chemical precipitation, membrane filtration, electrochemical elimination, coagulation and others. However, they do not meet the requirements of the industry, so the adsorption process is a perspective of solution for such problems presented, in a lower cost because in some cases the adsorbents can be reused through desorption, easier transportation and operation [5]. Oil industries, having an excess of water production due to their oil field development, in relation to their relationship with oil, better known as RAP, is inconsistent internationally being between 3 and 5 for conventional fields and in mature fields it reaches between 10 to 14 [5], so they seek to prioritize the mechanism of optimal decontamination of wastewater, so techniques based on nanotechnology are developed to ensure the viable livelihood of the same companies [6, 7].

2.1 ADSORPTION

Adsorption is determined when the element adsorbed in the area is called adsorbate, and adsorbent refers to the factor on which adsorption is generated, this was widely used around 4000 BC in ancient Egypt adsorption is used for dyeing fabrics of animal and vegetable fibers, among others, as well as for the discoloration of beverages and food. Substances present in a liquid stage accumulate or adsorb on the solid stage, and then the removal of the liquid is called adsorption, which is a mass transfer operation. Species dissolved in the solvent flow into the adsorbent porous solid granule by diffusion throughout the adsorption process, and then enter the inner area of the adsorbent. The dissolved species are adsorbed on the solid area by physical or chemical adsorption.

The first process for water treatment was the adsorption carried out by John Gibb in 1804 in Scotland, who sold his company and created an experimental filter, helping to establish the first water treatment company in Paris 2 years later, where, by means of coarse river sand, clean sand and charcoal, a filter was created for water purification.

In England a procedure was carried out that consisted of the creation of a sand filter in the middle of the 19th century, this was built from crushed anthracite coal, perlite and activated carbon; in the years after 1945 an advance in the creation of diatomaceous earth filters little used in industry, simultaneously powdered activated carbon filters (adsorption), its main function was the removal of suspended solids in water [8]. Adsorption is widely used because of its minimal costs, easy operation and availability of materials for its development [9]. In addition to the research carried out throughout history relating the part of nanotechnology with the cleaning of production waters, a focus has been made on the characteristics and benefits presented by the different materials used for that function in which the nano adsorbents are found who with their structure and size show surprising characteristics for the absorption of impurities found in the water, taking with it an advantage unlike granular activated carbon in the material savings and the efficiency obtained.

According to the above described, a content specifying the different methods and/or materials used in the industry for the elimination of heavy metals by means of adsorption based on nanotechnology is made.

2.1.1 HEAVY METAL REMOVAL

Naturally occurring radioactive resources such as uranium, radium, and radon dissolve in fairly low concentrations along traditional water-rock or soil attitudes. Groundwater coexisting with oil reservoirs may have unusually high concentrations of dissolved constituents that accumulate over prolonged periods of water/rock contact. Many oilfield waters are especially rich in chloride, and this optimizes the solubility of other resources such as radium, a radioactive constituent that can also be found in produced water. In certain oilfields, pipes and tanks that handle huge volumes of this "produced water" are likely to be coated with scale deposits that have radium in them. Radium accumulation in oilfield clusters in the USA first became evident in the 1980s, and since then the habit of determining unacceptable levels of radioactivity in oilfield pipeline shipments began. Since that time the oil and gas industry has tried to better conceptualize the extent of uncertainty given by oilfield NORMs (Naturally Occurring Radioactive Materials) and develop techniques for prediction, prevention, remediation and suppression of oilfield NORMs [10]. As for heavy metals when in the water body there is presence of metals such as lead, arsenic, cadmium, mercury and copper which are toxic metals in the environment and human health [9, 11], these metals were present on Earth from its beginnings and are among the most useful materials known. However, human occupations have greatly altered their natural period in the environment and in several cases the contributions of metals from human sources exceed those from natural sources [12].

2.1.1.1. CARBON-BASED NANO-ABSORBERS

Carbon nanotubes (CNTs) are currently of great relevance due to their special characteristics such as hollow structure, high porosity, high specific surface area and fast water transport, although there are modified CNTs that have deficiency in the adsorption of heavy metals due to hydrophobic surfaces, poor dispersibility and lack of functional groups [6].

Discovered in 1991, they are long single- or multi-walled cylinders in the form of rolled sheets. They are materials that according to their unique properties present extraordinary characteristics for the removal of heavy metals by adsorption and have demonstrated higher efficiency such as having more accessible pores in bundles and sorption than activated carbon [13] one of the indispensable criteria for this treatment deals with pH and which is described in the Langmuir model. Carbon nanotubes can be covalently and non-covalently modified, this helps to have a higher adsorption of metals, likewise in some studies it is proved that nanotubes treated with HNO₃ are effective and this is due to the role of oxygen. Acidified nanotubes improve the time required for the procedure as opposed to the time required with activated carbon on a scale of 1/6 of the time [14].

Nanotubes are also used to remove ions such as Cr +6 in a laboratory procedure combining MnO₂ with Fe₂ O₃ and acid oxidized multi-walled carbon nanotubes where their efficiency

reached 85% at a pH of 2.0 [15]. They developed hybrid adsorbent nanotubes using TiO₂ and MnO₂ for Pb⁺² removal obtaining an efficient result of 137 mg/g and 78.74mg/g respectively [16, 17]. In an experiment, oxidation of multi-walled carbon nanotubes (O-MWCNTs) by concentrated nitric acid was performed in order to remove Au (III). Their adsorption capacity was 62.3 mg/g, this was achieved due to the hydrophilic surface structure and oxygen-containing functional groups. After being treated in wastewater from King Abdulaziz University, an efficiency between 99.2% - 100% in Au (III) removal is obtained [9].

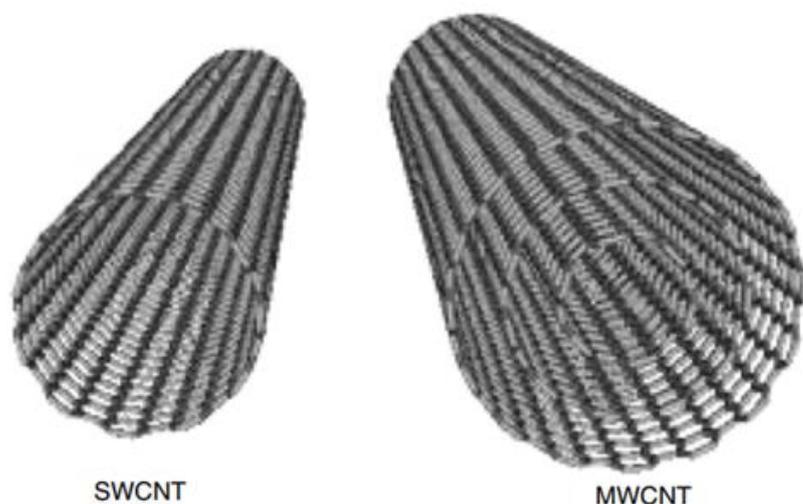


Fig. 1 - SWCNT: Single wall carbon nanotubes, MWCNT: Multi-walled carbon nanotubes.

Graphene (a substance composed of pure carbon) is also mentioned as an excellent adsorbent, in which both graphene oxide and reduced graphene oxide stand out for the removal of heavy metals such as Zn(II), Pb(II), among others. A particular case where several compounds both common and with nanotechnology are evidenced removing specific contaminants such as Pb(II), As(III) and As(V) and it was found as magnetic nanoparticles of manganese ferrite with a layer of graphene oxide had a great ability to extract and magnetically separate these metals from impure water [19] having an adsorption capacity of 673 mg/g, 146 mg/g and 207 mg/g, respectively, thus being among the best to remove these contaminants. Those who also worked with graphene stated that scanning electron microscopy and electrochemical measurements showed that the graphene-polypyrrole nanostructured 3D nanocomposite exhibited significantly improved perchlorate adsorption capacity compared to polypyrrole tape alone. X-ray photoelectron spectroscopy confirmed the adsorption and release process of perchlorate on the graphene-polypyrrole nanocomposite. Moreover, the existence of graphene substrate conferred as a consequence high safety of the graphene-polypyrrole nanocomposite throughout the potential period [20].

2.1.1.2. NANO ADSORBENTS BASED ON METALS AND/OR METAL OXIDES

There are different oxides such as Al₂O₃, TiO₂, FeO, MnO and others, which serve as economical adsorbents of high efficiency for the removal of heavy metals. By handling these materials at the nano scale, they represent a breakthrough in the industry due to the intrinsic

affinity towards hazardous metals, increased surface area, shorter intraparticle diffusion distance, greater contact of the sites of action, magnetic behavior, and easy recovery after adsorption, an experiment conducted where the size of the nanomagnetite changed from 300 to 11 nm and resulting in adsorption 100 times greater than the initial one [21]. Another contribution offered by this new technology is that its nano size offers advantages of changing a magnetic particle to a superparamagnetic one and this is achieved by handling the nano adsorbents at a scale smaller than 40 nm.

In an experiment carried out with the nanomaterial Al₂O₃ they handled a particle size between 62 and 87 nm with a pH of 5.5 and showed an efficient removal of Cr (III), Cd (III) and Pb (II) at concentrations of 100.0, 83.33 and 100.0 mg / g respectively [22]. Similarly in another case study they used TiO₂ for metal removal and obtained results as follows; Pb 2.0 μmol/L (99.9%), Cd 3.9 μmol/L (96.2%), Zn 6.3 μmol/L (98.2%), thus demonstrating that it can be an excellent alternative for the oil industry [23], also found the development of Zn nano adsorbent which had a size of 26 nm and its maximum adsorption capacity for metals Zn (II), Cd (II), Hg (II) was 357, 387, 714 mg / g respectively [24]. However, nanomaterials have been evolved by making modifications for greater effectiveness, a clear example is Goethite (α-FeOOH) functionalized with hydroxyl which has helped removal of 60.6 mg/g of As (V) from a wastewater, handling a pH of 7.0, and with the help of NaOH the nano adsorbent can be regenerated [25]. An advantage presented by metal-based nanomaterials is that by means of nanomagnetite and/or TiO₂ the removal of arsenic V is achieved, which is not possible by means of activated carbon [26].

From the topics addressed it can be seen that in the industry one of the best options for treating heavy metals in wastewater is nano zerovalent iron (nZVI), which has higher adsorption performance and better mobilization, so it is a great candidate for the treatment of heavy metals. This type of material can be obtained both physically and chemically, the first is done by methods such as grinding, abrasion and lithology, the second way is done by the methods of liquid chemical reduction, thermal decomposition in gaseous phase and active reaction of molten hydrogen-metal; Although the most used and simple is the reduction method obtaining homogeneous structure and high reactivity [9]. A study carried out was done for the removal of 1.3 mM of (VI) in a time span of 3 minutes with an amount of 5 g/L, which had an effective development [27], in the same way it was evidenced the adsorption of phosphate by means of nZVi thus obtaining a maximum adsorption of 245.65 mg/g [28], more studies relieved that magnetite retained the original metal removal capacity after 6 successive adsorptions by desorption-ionization processes [29].

2.1.1.3. POLYMERIC NANO ADSORBENTS

Heavy metal substances present in waters are extracted by means of the presence of hydroxyls on the external surface [30]. Synthetic polymers (MIP) are being widely named and used because of their affinity and selectivity characteristics for structural analogues and also because of their high adsorption [31]. In the development of polymeric nanoparticle where Fe and Al are functionalized had an effective removal of Arsenic ions at a rate of 40 mg/g and fluoride at an amount of 100 mg/g in wastewater [32]. Those nano sorbents based on metals

and metal oxides are also synthesized by sol gel, citrate gel, ultrasound and catalytic oxidation. Low-cost synthesis of magnetic nanoparticles can be realized using low-cost iron ore residues (IOT) [33, 34, 35].

Now, as natural polymers successfully synthesized by chemical and mechanical method, chitosan nanoparticles and chitin nanofibers, respectively which being natural generate low cost and are biocompatible. Chitin nanofibers (CNF) and chitosan nanoparticles (CNP) were used for the partitioning of lead(II) metal ions from aqueous solution, and the predominance of the effective components was investigated and the predominance of the effective components was investigated. It was found that both adsorbents have the ability to adsorb lead ions from solution however the sorption efficiency of CNP in each of the periods has been larger than that of CNF. Such low priced and environmentally friendly nano adsorbents were applied to partition metallic lead ions from aqueous solution. A batch technique was employed for the adsorption process. The results indicate that much the nano adsorbents, due to their huge surface area as well as different functional assemblies, have the potential to remove lead ions from aqueous solution efficiently. It was observed that the lead uptake for CNPs has been greater than that of CNFs in each of the periods considering that the proportion of adsorbed lead is dependent to a large extent on the initial concentration of metal ions. By increasing the initial concentration from 2 to 140 ppm and keeping all other factors constant, the interaction between lead (II) ions and adsorbent ratio and consequently, the interaction between lead (II) ions and active sites increases. So, there are more lead (II) ions accessible for the active sites to react with and, consequently, the adsorption of lead increases as a consequence. At fairly high initial concentrations very high initial concentrations, the adsorbed lead remains almost constant, thanks to the saturation of the active site by the metal ions, beyond 100 ppm concentrations of lead ions, no significant changes in lead ion adsorption were observed.

The results of the experiments show that CNF and CNP have the ability to rapidly remove lead ions and, they have a high lead adsorption ratio. For lower concentrations (2-10 ppm) experiments have been conducted and the result showed that there was almost no lead ion in the remaining solution and the lead ion suppression efficiency was obtained from 96% to 100%. In addition, the adaptability of equilibrium results with adsorption isotherms was investigated and it was found that Freundlich and Langmuir isotherms fitted better with the experimental data for CNF and CNP respectively. Furthermore, kinetic and thermodynamic studies showed, respectively, that CNPs make the adsorption process more immediate and spontaneous relative to CNFs. The optimum suppression pH for the two adsorbents was found to be equal to 5.0 [36].

2.1.1.4 ZEOLITES AS NANOABSORBENTS

Natural zeolites are hydrated aluminum silicate structures with pores occupied by water, alkalis and alkaline earth metal cations. These materials can acquire outstanding adsorption properties, also acting as a cation exchanger because of their negatively charged surface due to their unique 3D porous structure, these materials can acquire exceptional adsorption properties. Zeolite generally acts as a good cation exchanger as a result of its negatively charged surface.

By virtue of their cation exchange capacity as well as their molecular sieving properties, natural zeolites can serve as very good adsorbents in separation and purification processes with high selectivity [37]. Nano zeolites have also been improved by being functionalized with cationic surfactants, their main function has been the removal of carcinogenic contaminants and harmful anions [38]. Experiments were conducted to identify the potential of NaX zeolites, which were prepared by electrospinning method, their adsorption capacity was 838.7 mg/g with 80% removal of Cd +2 at an optimum pH of 5.0 [39]. In a study carried out, zeolites modified with Mg were used for the removal of Cd +2 with a pore size between 40 to 50 nm and at a pH of 7.0, a removal of more than 98% of the contaminant was obtained, and when compared with zeolites that were modified with K and Na, a removal 1.5 times higher and 2 times better than that of natural zeolites was achieved [40].

Similarly, there are synthetic zeolites that present characteristics of greater interest in terms of their structural rigidity, thermal stability and adsorption efficiency, such advantages were given due to the designed channel networks, also to their shape and pore size. In some studies this type of zeolites have been used to minimize and/or eliminate the concentration of fluoride and arsenic. In the case of performing the adsorption process for metal ions, studies have been seen where functionalization with aminopropyl, mercaptopropyl and others have been performed [41]. In the industry there are synthetic zeolites with low silica content pretreated with Al₃₁, H-MFI-24 (H24) and H-MFI-90 (H90), stilbite zeolites modified with FeCl₃, which are some of these examples with a moderate adsorption capacity [42].

2.1.2. OIL REMOVAL

Oil is dispersed in the production water, where the color is observed depending on where the light falls according to angle and can cause serious problems such as toxicity in the fauna that encounters it, sometimes reducing aeration, when it is taken to injection wells it can generate unnecessary emulsions, although a base value of 25mg/L can be taken, the limits for offshore discharge can be different in each country [43].

2.1.2.1. ALUMINA-BASED NANO ADSORBENTS

Specific options are found for both fresh and salt water, for fresh water [44] the material used was quite adsorptive and of a fast equilibrium taking into account that one of the conclusions was that pH is one of the reference characteristics in these tests, being the best system for the adsorption of crude oil a pH of 7 (Neutral), the materials used were alumina nanoparticles functionalized with nano sorbents of empty oil residues also used for salt water, the latter being the impurities of the crude oil used to make bitumen and heavy fuel oils. The case for salt water is not so different but hydrophobic alumina was used in addition to the above mentioned, the same process of varying the scenarios was performed especially the pH and weight % of empty residues where the results confirmed that in a neutral system is better for oil removal, adding that it also showed good results for acidic pH [45]. The maximum amount adsorbed measured experimentally is 80% higher with the salty medium than with fresh water [44].

2.1.2.2. SILICA-BASED NANOABSORBENTS

In a study, a silica nano-intermediate was made, which has great potential characteristics for the adsorption of oil in water and nano particles that were used for the adsorption of oil emulsified in water, where its functionality was compared with a common material such as walnut shells, which stands out in this process, where it was studied by means of experiments with different characteristics such as salinity, pH, temperature and crude oil concentration, noting an abysmal difference [46], the commercially available hydrophobic nano-silica proved to be an effective adsorbent in the treatment of wastewater contaminated with gasoline and diesel, with a high adsorption rate and a removal efficiency of 99% [45].

2.1.2.3. CARBON-BASED NANO-ADSORBENTS

In most of the cases used in the industry they are made in a temperature range around 300 K in order to be more efficient in their development and procedure. The advantages presented by the grown carbon nanotubes provide the facility of adsorption of aromatic pollutants by means of superhydrophobicity. This characteristic is obtained because there is no interaction with H₂ and O₂ molecules in such a way giving free way to the passage of water, in a case study it was proved that MWCNTs based on solid phase extractor (150 mg) for the recovery of polycyclic aromatic hydrocarbons demonstrated after several studies that their best performance was with concentrations of 125 mg obtaining an efficiency between 75.8% to 125.3% and likewise a recovery with a range of 70.9% to 96.8% [18].

2.2. NANOTECHNOLOGY ASSISTED MEMBRANES

Membranes are defined as selective barriers that allow the passage of various substances, yet prevent the passage of others, such as molecules, ions or other small particles. It is a totally new technology that has been extensively studied and explored in cleaning methodologies for production and wastewater. It has the following advantages: high splitting efficiency, no need for stage change, energy conservation, environmental stewardship, simplicity of equipment and ease of operation. It has considerable technical advantages in water process and became an indispensable technology in the field of water process. Membrane splitting technology is used in heavy metal wastewater process, not only to make the permeate discharge or breeding standards, but also for the recovery of important resources. In recent years, scientists made many inquiries about membrane splitting technology in heavy metal wastewater procedure, which have revealed certain application prospects [9]. Membranes nowadays have become a main material for separation of heavy metals and inorganic pollutants [47]. A membrane is a rather thin sheet of semi-permeable material that enables permeation in selected areas by means of its pores according to their size and shape. Being a great way to work the produced water and therefore it was possible to visualize how nanotechnology will extend the help in this method. Based on certain specific characteristics such as porosity and structure, membranes have the possibility to be separated into various types, such as nanofiltration membranes, nanocomposite membranes, nanofiber membranes, among others [6].

2.2.1. HEAVY METAL REMOVAL

2.2.1.1. CARBON NANOTUBE MEMBRANES

The development of membranes based on carbon nanotubes has been of great interest due to the characteristics obtained, such as its hollow structure, its smooth hydrophobic walls among others, one of the relevant advances of this type of membranes is due to the control that can be had of the diameter that helps with the process of selective semi-permeable membrane. Similarly the aligned CNT structure gives an explanation of the frictionless movement of water molecules through the nanochannels, these nanocomposites possess characteristics of great advantage such as low mass density, high flexibility, large aspect ratio improving their performance in this way [48].

Carbon nanotube membranes can be modified by mixed matrices, this process is performed with mixed polymerics and its purpose is to break those existing barriers for water separation. Similarly, studies have been carried out on the functionalization of membranes with TiO₂, Ag, Cu nanoparticles, which have had a better performance [49].

2.2.1.2. GRAPHITE MEMBRANES

The use of graphene as membranes is evaluated as a potential for wastewater treatment and/or water desalination, so improvements have been made to traditional membranes such as conventional polymeric membranes, zeolites and others. Graphene oxide nanochannels can be synthesized with 2D nanochannels to perform selective selection of water molecules to transport water with varying operational conditions, the passage of H₂ and O₂ molecules depends on the pore size of the nanochannels, pore chemistry and pore functionalization. By means of graphene monolayers functionalized ions with the negatively charged nanopores aid the flow of cations and when they are positively charged they aid the flow of anions and thus aid in wastewater desalination [50, 51]. In a case study they created graphene oxide (GO) membranes functionalized with aminated polyacrylonine which resulted in 98% effective oil retention [52].

2.2.1.3. CERAMIC MEMBRANES INCORPORATED WITH NANOMATERIALS

Titania nanopowders are furthermore used to areas of ceramic membranes, such as silica, alumina, zeolites and activated carbon are more stable than polymers under UV light and in the presence of reactive oxygen species [53], 3 coatings per dip are sufficient to produce an unimpaired skin layer (0.9 mm thick); being correct that there are more layers to provide a larger active area, each layer also increases the processing price [54], the coating layer has negligible resistance, as shown by the elaborate that the permeability of the membrane did not change. The composition of these tapes is quite porous and interconnected, which enables a huge area for both adsorption and photocatalytic activity in the titania area. The resulting membrane has a water permeability of 6.71 L m² /bar h and any molecular weight cutoff of 12 kDa [53]. In a case study NTC were deposited on a ceramic membrane through chemical vapor in order to integrate the function of the ceramic pore channels and the grown pores of carbon nanotubes, this experiment resulted in 100% efficiency for oil rejection and at a flux rate of 36 L/hm² [55].

2.2.1.4. PHOTOCATALYTIC MEMBRANES

Catalyst coatings on polymeric membranes have been shaped to produce reactive areas to improve separations, parallel eliminating the difficulty of catalyst recovery, currently water purification systems based on photolytic sanitization are available [53]. Commercially available porous polymeric membranes with a titanium coating, filtering a suspension of nanoparticles by applying UV/vis irradiation and demonstrating high photodegradation (4-nitrophenol) [56]. "Self-cleaning" membranes with the addition of titanium nanoparticles; the cleanliness, in this way as well as the high flux observed upon UV application are attributed to 2 concurrent phenomena: photocatalysis and ultrahydrophobicity [57]. To minimize the inevitable titania-catalyzed UV degradation of the organic parts of conventional membranes, they prepared self-cleaning PA/titania membranes with impregnated polysulfone support (PSf) by interfacial polymerization, which have inside a silicon dioxide layer in between the cross-linked PA and titania layers. The flux recovery after 15 h of handling being every 3 h water cleaning with UV exposure is higher than 98% in the situation of these photocatalytic membranes, significantly higher than standard water processing membranes. Likewise, a nanostructured polymer based on (styrene, divinylbenzene, potassium persulfate, sorbitan monooleate) was discovered which was used in the form of sheets (membranes) in order to remove oils found in the produced water, obtaining an efficiency of 99.75% in a time of 75 minutes [58].

Then the photocatalytic membranes reach to remove up to 90 and 85% and the fact by which this degradation occurs is the decomposition of ozone on the iron oxide coating surfaces, which increases the production of hydroxyl radicals and, therefore, the degradation. The main limitation of photocatalysis is the rapid mixing of electrons and produce holes that limit the degradation of organic substances and the inactivation of organisms with compact and complex cell walls, such as bacterial endospores that require longer exposure times. When membranes are immobilized or on reactive surfaces, the active area is reduced, which further limits photoactivity, where photoactivity can be enhanced by doping the particles with ions by separating the photo-induced charges and improving surface availability. The advantages here are extensive compared to other membranes such as microfiltration, ultrafiltration, higher stability, good contaminant degradation, higher hydrophilicity and good self-cleaning capacity [53].

Catalyst-coated membranes face similar challenges that ceramic water treatment membranes have always faced, i.e., high manufacturing cost and low packing density relative to polymeric membranes [53].

2.2.1.5. MEMBRANES COMPOSED OF THIN FILMS

The addition of nanoparticles to interfacial polymerization processes or area attachment by self-assembly introduced the term thin ribbon composite membranes, which give potential benefits of any improved partitioning performance, reduced fouling, antimicrobial activity and other novel functionalities, as with thin film nanocomposite membranes. These membranes on reverse osmosis are based on zeolite nanoparticles try to take advantage of the molecular

sieving characteristics of zeolites [59]. Because they cast molecular sieves on the thin ribbon of a reverse osmosis membrane, where diffusion controls the transport process, the purpose is to essentially reach the percolation threshold in the dense selective layer with a personal particle. The main thing is based on that melt zeolite in the polyamide thin ribbons on the support membranes of the membrane polymers including polysulfone dispersing zeolite nanoparticles in the solution of these thin membranes previously from the interfacial polymerization. The water permeability of zeolite in nanocomposite membranes is increased by up to 80% over simple composites of the same design. Similarly the thin film nanocomposite membranes that additionally have inside linde type A nanoparticles (0.2 wt.%) on the thin ribbon by means of interfacial polymerization and characterized properties of membrane composition, morphology and partitioning [60], the existence of zeolite nanoparticles gives rise to increased permeability, larger negative surface charge and thicker membranes, regardless of the size of the particles used (97, 212 and 286 nm). In addition, they prepared composite membranes of thin nanofiltration tape with polyamides and titanium nanoparticles (60 nm) in the skin layer by interfacial polymerization [61]. Theoretically, the permeability of thin film membranes with impermeable nanoparticles such as titanium nanoparticles inside reduces, while those employing permeable nanoparticles such as sodalite nanoparticles increases. On the other hand, impermeable nanoparticles only have the potential to minimize the water permeability of a membrane as they reduce the area available for permeation through the polymer tape [53].

2.2.2. SOLIDS REMOVAL

2.2.2.1. FOR NANOFILTRATION WITH MEMBRANES TYPE NF270 and NF90

Nanofiltration was performed using two commercial very thin film membranes (NF270 and NF90) and another reverse osmosis membrane, with water produced in the United States, the experiment was based on a before and after membranes by means of special features such as adsorption of organic and inorganic material during this filtration, contact angle and field emission sweep of the virtues of using this type of filtration at the nanoscale was not requiring the addition of chemicals. Considering the nanofiltration membranes, the NF270, due to its characteristics, turned out to be the one with the lowest decrease in permeate flux, but in the end everything will depend on the condition of the water, finding the best performance, thus being a good alternative for the treatment of produced water [62].

2.2.3. SALT REMOVAL

2.2.3.1. ZEOLITE-BASED NANOMEMBRANE

Zeolite has been studied for use in membranes where brine reverse osmosis desalination is important, certain common zeolite materials used in membranes include MFI type, sodalite and Linde Type A (LTA). Pore size and residual density are the primary components of concern when considering zeolites for water cleaning; pore size determines ion selectivity and density determines water mobility. Since the function of any molecular sieve is due to the width of its channels, zeolites being natural aluminosilicate minerals can visualize the change of silicon

and aluminum atoms in number, which is called the framework and consequently the channel will change the characteristics of the sieve. In addition, both the mobility of ions and water molecules through a zeolite are subject to the relative density of the framework composition; resulting in the Linde type A membrane being the best with open pores that provide less hindrance to water movement but detract from salt mobility. Others apply MFI type zeolite membranes (thickness \approx 3 mm) for reverse osmosis desalination (with a 0.1 M NaCl solution at 2.07 MPa). The reduced rejection is attributed to the double layer compression in the inter-crystalline pores of the zeolite material due to the high ionic strength of the solution, another analysis with similar MFI membranes reports higher flux and rejection values ($>95\%$ Na⁺ ions). The higher transmembrane pressure increases the observed water and ion rejection, which gives rise to any better partitioning performance, this would be due to the reduction of the solution viscosity and the growth of the diffusivity of water molecules and salt ions. Even though these membranes served as a criterion test, more water and larger salt rejection is necessary for MFI-based RO membranes to be commercially viable [53].

Similarly they performed the creation of zeolite nanoparticle membranes for the removal of lead and nickel and their maximum adsorption capacity was 122 and 682 mg/g respectively, during a time span of 60 min transmembrane filtration depression of a rod [63].

In another laboratory experiment, the nano composite film membrane (TFN) was fabricated by incorporating GO with a weight of 0.3%, to retain the passage of some salts, in which their rejection permeability results obtained were: Na₂SO₄ 95.2%, MgSO₄ 91.1%, MgCl₂ 62.1% and NaCl 59.5% [64].

2.3. PHOTOCATALYSIS

Photocatalysis is any advanced oxidation process employed in water and wastewater processing. It shows any major potential as a low-cost, enviable technology solution for sustainable and environmentally friendly water processing. In addition photocatalytic oxidation is an advanced degradation process for the suppression of pollutants and compounds such as dye, which are not readily biodegraded in conventional process plants [65].

2.3.1. PROGRESS OF NANO-PHOTOCATALYSTS FOR WATER DECONTAMINATION

The biodegradability of fairly decomposable substances can be increased in a pretreatment phase. Because, the band gap (E_g) of TiO₂ undertakes broadening. In the nanorange ($d = 0.08$), have the possibility to intervene more likely organic substrates in the redox processes according to the necessary criteria of photocatalysis, the low photon efficiency limits its industrial use, in a photocatalyst where the band gap has shifted to a lower energy; causes the utilization of any more extended spectrum in sunlight [66]. An analysis shows that to improve the performance of TiO₂ nanoparticles, TiO₂ nanotubes, and 25-40% noble metal doping are more efficient [67]. Several sets of inquiry were investigating the mixture of splitting and catalytic processes using any membrane photocatalytic reactor to purify water and retain catalytic particles [66, 68].

Photocatalytic oxidation is any advanced degradation process for the suppression of trace contaminants, pathogens, and organic compounds such as dye, which are not readily biodegraded in conventional processing plants. Aluminum oxide, TiO₂ and ZnO are most commonly used for nanotechnology in water processing by adsorption, chemical degradation, photodegradation and chemical sanitization. TiO₂ is the most widely used photocatalyst in water and produced water procedure due to its low toxicity, chemical safety, low price and copiousness as raw material [69].

2.4. ANTIMICROBIAL PROCESS

These are defined as the control of microbial growth by sanitization, reduction of development and to defend water in this case or other chemicals from contamination, fouling or deterioration caused by bacteria, viruses, fungi, protozoa, algae or slime. From the inquiries carried out in the last decades, they revealed a dilemma between positive sanitization and the formation of sanitization by-products, since, they have the possibility to react with other elements in the water and produce harmful disinfection by-products [70]. Experts from two important entities in Colombia, Ecopetrol and the University of Santander generated an investigation for injection water based on molecular biology where they found 200 DNA of different bacteria that could cause corrosions damaging the base oil construction and/or lowering the production and acidifications such as sulfuric acid, acidifying the crude and generating higher costs due to needing more treatment, taking into account the above, if the production water is not well treated before these microorganisms and is used in this second process, economic damage would be done [71].

The current methods applied to the disinfection of wastewater are effective obtaining beneficial results for the companies, however it has a great deficiency in because it can generate harmful substances that are disinfection byproducts (DBP), the products that are most common for these processes are chloramine, chlorine and others, from them can react and create hundreds of harmful DPB. Subsequently, alternatives such as UV disinfection have been generated since they generate fewer DPBs. One of the essential characteristics that disinfectants must have is their antimicrobial activity, which must be broad for room temperature and in the shortest possible time, easy to store and not corrosive to any equipment or surface [70, 72].

2.4.1. MICROBIAL PURIFICATION AND REGISTRATION BY MEANS OF ANTIMICROBIAL NANOMATERIALS

There are nanostructured materials that are excellent choices for antimicrobial activity and are used in wastewater that is contaminated with bacteria, pathogens, fungi, among other viruses. TiO₂ and ZnO are some materials that are used in water filters and reverse osmosis membrane to have optimal control of bacterial contaminants [73]. Similarly, carbon nanotubes are good candidates for microbial control because they can induce oxidative stress in cells and kill microbes [74].

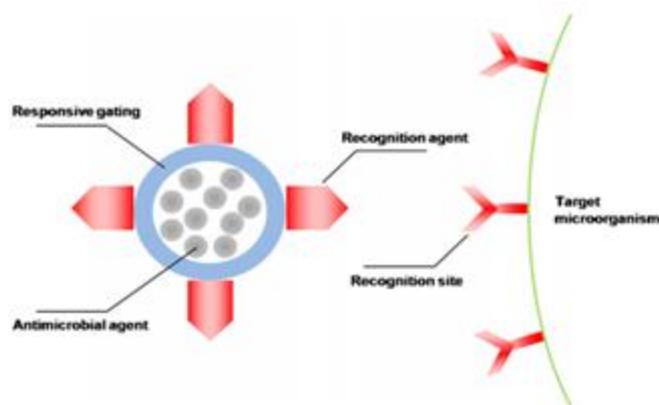


Fig. 2 - Schematic mechanism for “on-demand” microbial control. “On-demand” microbial control can be achieved by using recognition agents that target specific microorganism. The responsive gating material is designed to release the antimicrobial agent after the recognition event.

2.4.1.1. ANTIMICROBIALS OF TiO₂ NANOPARTICLES

TiO₂ nanoparticles are a highly prospective element for the remediation of inactive microbes present in wastewater, it does so through the generation of reactive oxygen species (ROS), usually hydroxyl and peroxide free radicals formed under UV-A irradiation [75]. There is also a great absorbance by means of UV-A of TiO₂ under solar radiation, it improves drastically the disinfection, however it is a much slower process and it is given by the small fraction of UV-A in the solar radiation, based on this there have been investigations on doping with metals to improve the visible light absorbance of TiO [70].

2.4.1.2. ANTIMICROBIAL OF ZNO NANOPARTICLES

Zinc nanoparticles have a high UV absorption capacity, as well as excellent actions to combat a wide range of bacteria found in wastewater. In spite of the research carried out, it has not been found a clarity on the resulting effects by means of this nanoparticle due to the fact that the experiments carried out have reflected totally opposite results as it was in the ideal size of the nanoparticles in addition to that, it was also found that aquatic organisms have great sensitivity when encountering dissolved zinc [76, 77]. However, there is a need to develop novel nanoparticle-based formulations that are stable, robust and durable, and that are effective in the devastation or suppression of bacteria and viruses. Some preliminary studies have indicated that ZnO nanoparticles at a concentration of between 3 and 10 mM produced 95% inhibition of bacterial growth as a consequence of a cumulative intracellular accumulation of nanoparticles [76].

2.4.1.3. CARBON NANOTUBES ANTIMICROBIAL

Carbon nanotubes possess characteristics to remove bacteria effectively depending on the size of the bacteria, these are inactivated by the nanotubes in such a way that the bacteria and viruses found are oxidized, to accelerate this process a small amount of intermittent voltage

can be generated [78, 79]. By demonstration, if single walled nanotubes (SWNT) are immobilized on the outside of the membrane filter, it gives 87% to the elimination of E. coli in approximately 120 minutes.

2.4.1.4. ANTIMICROBIAL NANO-POLYMERS

Polymeric nanoparticles provide various mechanisms of how they attack and eliminate bacteria present in wastewater, some of them are by release, microbial agents or cation surfaces that by contact fulfill their function, cation groups break bacterial membranes, the most usual technique in the industry is that the hydrophobic chains penetrate and break the membranes [80].

3. BENEFITS OF NANOTECHNOLOGY-BASED TREATMENTS FOR SUSTAINABILITY

The integration of nanotechnology in the oil industry helps the development of treatments more effectively, due to the advantage presented where by the size of their materials gives some changes in the properties offering better quality standards and compliance with the rules in force, in order to reuse this resource or take it to its final disposal, for this reason they have conducted studies in water treatment where nanoparticles play an important role for the removal of toxic and corrosive components found in wastewater, helping to purify them at a lower operating cost.

The research carried out to date on all the technological advances based on nanotechnology has given us enormous progress for the removal of pollutants found in wastewater, which has generated changes in the treatments, in order to improve those limitations or difficulties of traditional processes. The use of nano sorbents, nano metals and nanomaterials have a better efficacy than conventional products helping the removal of heavy metals and oil.

Referring to the adsorption method, which is one of the most common in the industry, great advances in its efficiency are reflected in a comparison between the use of carbon nanotubes oxidized with HNO₃ and activated carbon for the removal of Pb +2, an improvement in the equilibrium time from 120 minutes to 20 minutes is evidenced [14].

Another contribution offered from the advances acquired through adsorption, it is found that plasma oxidized carbon nanotubes are better than chemically oxidized carbon nanotubes due to the functional groups containing oxygen, and in turn can be reusable [81]. However, graphene has been modified for the removal of Pb +2 and has been achieved in approximately 40 minutes; the advantages obtained at a general level are greater dispersibility, greater selectivity, modification of inorganic compounds, reduction of secondary contamination and the possibility of reusing the material [82].

Magnetic nanoparticles present characteristics that help the easy recovery of the nano adsorbent, by means of an external magnetic field and has been proven by the Food and Drug Administration of the United States in which it benefits the yield of raw material, of the same is possible by the change of the property from magnetic to superparamagnetic that is obtained

when handling these nanoparticles with a size smaller than 40 nm increasing its adsorption efficiency.

In relation to the reuse of material, there are abysmal differences of nano adsorbents with respect to conventional materials, being proven that nanotubes reduced their sorption by 25% after being reused for 10 cycles, while activated carbon when used for the second time reduced by more than 50% [83].

The continuous development of science, accompanied by technological advances have led to significant progress in engineering, the results obtained from science applied to membranes, partitioning phenomena and / or purification have led many more scientists to deepen this area of research, implementing technologies that have gradually managed to show optimal results with greater clarity for the correct interpretation by their audience of interest.

Nano-filtration by membranes is one of the most important processes by division of the same, since it covers any domain of environmental sciences however extensive it may be, this technology is applicable to wastewater treatment and drinking water treatment. Photocatalysis has been another important process, which has shown great potential, reducing costs and being a sustainable and environmentally friendly process thanks to the use of nanotechnology, however, there are still some technical threats in its application on a large scale, so the respective improvements must be made to the catalysts so that it is reflected in an improvement of the quantum yield, also optimize techniques for the recovery of catalysts or take into account that the degradation process can be promoted by radical-mediated pathways, since some nanomaterials promote the decomposition of ozone into hydroxyl radicals; solar sanitization enabled by nanotechnology has been extensively tested and appears to be a possible alternative for generating safe drinking water in remote regions of developing nations.

Antimicrobial nanoparticles nowadays have had a substantial development with respect to the elimination of pathogens, bacteria, viruses and microorganisms found, however Zn nanoparticles have not had gratifying effects due to the fact that different results were found in several experiments, so analyses are still being carried out to determine the real effectiveness of their process.

All scientific and technological advances remain in constant evolution, showing the world many secrets of science that remained hidden due to lack of precision at the time of their application; this topic is extremely extensive and merits further study, since it has a great scope in terms of environmental sustainability and it is not possible to take into account all the endogenous and exogenous variables that may lead to corroborate or disprove some of the assertions expressed in this document.

4. CONCLUSION

Nanotechnology offers greater potential to the industry, providing materials with different properties that will bring great benefits such as the reduction of pollutants, costs, time and even raw material, making possible the reuse of such treatments for the new oil generations.

The nano-adsorbents generate a reduction of raw material, for its reuse of material in which several studies prove its later use for several times, and obtaining gratifying results and when comparing it with activated carbon, it shows its efficiency.

Taking into account that nanotechnology has a positive influence, it is realized that adsorption would be the best treatment due to the fact that a wide range of materials can be worked, such as metal oxides, carbon nanotubes, graphene and nanocomposites.

The implementation of this new technology in the development of water treatment improves the removal of contaminants that affect the integrity of human beings and the environment, and reduces operating costs for different reasons such as the reuse of the nanomaterial, the easy recovery of nanoparticles and the reduction of secondary contamination.

According to the studies carried out throughout the generations in the industry, it commits oil companies to use nanotechnology for the development of cleaning and/or water treatment processes in the future, emphasizing the search for innovative and economical processes.

5. REFERENCIAS

- [1] Y. Zhang et al., "Nanomaterials-enabled water and wastewater treatment," *NanoImpact*, vol. 3-4, pp. 22-39, 2016/07/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2016.09.004>
- [2] F. Petronella et al., "Nanocomposite materials for photocatalytic degradation of pollutants," *Catalysis Today*, vol. 281, pp. 85-100, 2017/03/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.05.048>.
- [3] S. Song et al., "Impacts of Morphology and Crystallite Phases of Titanium Oxide on the Catalytic Ozonation of Phenol," *Environmental Science & Technology*, vol. 44, no. 10, pp. 3913-3918, 2010/05/15 2010, doi: 10.1021/es100456n.
- [4] A. Turki, C. Guillard, F. Dappozze, Z. Ksibi, G. Berhault, and H. Kochkar, "Phenol photocatalytic degradation over anisotropic TiO₂ nanomaterials: Kinetic study, adsorption isotherms and formal mechanisms," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 163, pp. 404-414, 2015/02/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.08.010>.
- [5] Morales, M., Revelo, A., 2016. Desempeño técnico y ambiental de las tecnologías convencionales y modernas de tratamiento de agua producida. Tesis de pregrado. Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia
- [6] S. A. Younis, H. A. Maitlo, J. Lee, and K.-H. Kim, "Nanotechnology-based sorption and membrane technologies for the treatment of petroleum-based pollutants in natural ecosystems and wastewater streams," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 275, p. 102071, 2020/01/01/ 2020.
- [7] F. Pombo, A. Magrini, and A. Szklo, "Technology roadmap for wastewater reuse in petroleum refineries in Brazil," *Environmental Management in Practice*, p. 425, 2011.
- [8] Walter Weber, J. (2003). Control de la calidad del agua Procesos fisicoquímicos. España: Editorial Reverté S.A
- [9] L. Liu, X.-B. Luo, L. Ding, and S.-L. Luo, "4 - Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal From Water," in *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*, X. Luo and F. Deng Eds.: Elsevier, 2019, pp. 83-147.
- [10] Robert A. Zielinski, James K. Otton, 1999, "Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Produced Water and Oil-Field Equipment— An Issue for the Energy Industry", U.S. Geological Survey, USGS Fact Sheet FS-142-99
- [11] H. Mustapha, J. Bruggen, and P. N. L. Lens, "Fate of heavy metals in vertical subsurface flow constructed wetlands treating secondary treated petroleum refinery wastewater in Kaduna, Nigeria," *International Journal of Phytoremediation*, vol. 20, 06/09 2017.
- [12] ALBERT, L. 2006. Curso básico de toxicología ambiental. Limusa, DF, México, pp. 101-215.
- [13] B. Pan and B. Xing, "Adsorption Mechanisms of Organic Chemicals on Carbon Nanotubes," *Environmental Science & Technology*, vol. 42, no. 24, pp. 9005-9013, 2008/12/15 2008.
- [14] H. J. Wang, A. L. Zhou, F. Peng, H. Yu, and L. F. Chen, "Adsorption characteristic of acidified carbon nanotubes for heavy metal Pb(II) in aqueous solution,"

Materials Science and Engineering: A, vol. 466, no. 1, pp. 201-206, 2007/09/25/ 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.02.097>.

[15] C. Luo, Z. Tian, B. Yang, L. Zhang, and S. Yan, "Manganese dioxide/iron oxide/acid oxidized multi-walled carbon nanotube magnetic nanocomposite for enhanced hexavalent chromium removal," *Chemical Engineering Journal*, vol. 234, pp. 256-265, 2013/12/01/2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.08.084>.

[16] X. Zhao, Q. Jia, N. Song, W. Zhou, and Y. Li, "Adsorption of Pb(II) from an Aqueous Solution by Titanium Dioxide/Carbon Nanotube Nanocomposites: Kinetics, Thermodynamics, and Isotherms," *Journal of Chemical Engineering Data*, vol. 55, no. 10, pp. 4428-4433, 2010/10/14 2010, doi: 10.1021/je100586r.

[17] S.-G. Wang, W.-X. Gong, X.-W. Liu, Y.-W. Yao, B.-Y. Gao, and Q.-Y. Yue, "Removal of lead(II) from aqueous solution by adsorption onto manganese oxide-coated carbon nanotubes," *Separation and Purification Technology*, vol. 58, no. 1, pp. 17-23, 2007/12/01/ 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.07.006>.

[18] J. Ma, J. Xiao R Fau - Li, J. Li J Fau - Yu, Y. Yu J Fau - Zhang, L. Zhang Y Fau - Chen, and L. Chen, "Determination of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons in environmental water samples by solid-phase extraction using multi-walled carbon nanotubes as adsorbent coupled with gas chromatography-mass spectrometry," (in eng), no. 1873-3778 (Electronic).

[19] S. Kumar, R. R. Nair, P. B. Pillai, S. N. Gupta, M. A. R. Iyengar, and A. K. Sood, "Graphene Oxide–MnFe₂O₄ Magnetic Nanohybrids for Efficient Removal of Lead and Arsenic from Water," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 6, no. 20, pp. 17426-17436, 2014/10/22 2014, doi: 10.1021/am504826q.

[20] S. Zhang, Y. Shao, J. Liu, I. A. Aksay, and Y. Lin, "Graphene–Polypyrrole Nanocomposite as a Highly Efficient and Low Cost Electrically Switched Ion Exchanger for Removing ClO₄⁻ from Wastewater," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 3, no. 9, pp. 3633-3637, 2011/09/28 2011, doi: 10.1021/am200839m.

[21] S. Yean et al., "Effect of magnetite particle size on adsorption and desorption of arsenite and arsenate," *Journal of Materials Research*, vol. 20, no. 12, pp. 3255-3264, 2005.

[22] A. Afkhami, M. Saber-Tehrani, and H. Bagheri, "Simultaneous removal of heavy-metal ions in wastewater samples using nano-alumina modified with 2,4-dinitrophenylhydrazine," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 181, no. 1, pp. 836-844, 2010/09/15/ 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.089>.

[23] K. Engates and H. Shipley, "Adsorption of Pb, Cd, Cu, Zn, and Ni to titanium dioxide nanoparticles: Effect of particle size, solid concentration, and exhaustion," *Environmental science and pollution research international*, vol. 18, pp. 386-95, 03/01 2011, doi: 10.1007/s11356-010-0382-3.

[24] T. Sheela, Y. A. Nayaka, R. Viswanatha, S. Basavanna, and T. G. Venkatesha, "Kinetics and thermodynamics studies on the adsorption of Zn(II), Cd(II) and Hg(II) from aqueous solution using zinc oxide nanoparticles," *Powder Technology*, vol. 217, pp. 163-170, 2012/02/01/ 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.10.023>.

[25] H. Wang, A. L. Zhou, F. Peng, H. Yu, and L. Chen, "Adsorption characteristic of acidified carbon nanotubes for heavy metal Pb(II) in aqueous solution," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 466, pp. 201-206, 09/25 2007, doi: 10.1016/j.msea.2007.02.097.

- [26] J. Mayo et al., "The effect of nanocrystalline magnetite size on arsenic removal," *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 8, no. 1-2, p. 71, 2007.
- [27] L. Ling, B. Pan, and W.-x. Zhang, "Removal of selenium from water with nanoscale zero-valent iron: Mechanisms of intraparticle reduction of Se(IV)," *Water Research*, vol. 71, pp. 274-281, 2015/03/15/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.01.002>.
- [28] Z. Wen, Y. Zhang, and C. Dai, "Removal of phosphate from aqueous solution using nanoscale zerovalent iron (nZVI)," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 457, pp. 433-440, 09/01 2014, doi: 10.1016/j.colsurfa.2014.06.017.
- [29] J. Hu, G. Chen, and I. M. C. Lo, "Removal and recovery of Cr(VI) from wastewater by maghemite nanoparticles," *Water Research*, vol. 39, no. 18, pp. 4528-4536, 2005/11/01/ 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.05.051>.
- [30] R. R. Karri, S. Shams, and J. N. Sahu, "4 - Overview of Potential Applications of Nano-Biotechnology in Wastewater and Effluent Treatment," in *Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment*, A. Ahsan and A. F. Ismail Eds.: Elsevier, 2019, pp. 87-100.
- [31] R. C. Advincula, "Engineering molecularly imprinted polymer (MIP) materials: Developments and challenges for sensing and separation technologies," *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol. 28, no. 6, pp. 1313-1321, 2011.
- [32] V. Kumar, N. Talreja, D. Deva, N. Sankararamakrishnan, A. Sharma, and N. Verma, "Development of bi-metal doped micro- and nano multi-functional polymeric adsorbents for the removal of fluoride and arsenic(V) from wastewater," *Desalination*, vol. 282, pp. 27-38, 2011/11/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.013>.
- [33] Mohapatra M, Hariprasad D, Mohapatra L, Anand S, Mishra BK. Mg-doped nano ferrihydrite—a new adsorbent for fluoride removal from aqueous solutions. *Appl Surf Sci* 2012;258:4228 36.
- [34] Biswas K, Gupta K, Goswami A, Ghosh UC. Fluoride removal efficiency from aqueous solution by synthetic iron(III) aluminum(III) chromium(III) ternary mixed oxide. *Desalination* 2010;255:44 51.
- [35] Tomar V, Prasad S, Kumar D. *Microchem J* 2013;111:116 24.
- [36] Siahkamari, Mohsen., Jamali, Abbas., Sabzevari, Alireza., & Shakeri, Alireza., Removal of Lead(II) ions from aqueous solutions using biocompatible polymeric nano-adsorbents: A comparative study. *Carbohydrate Polymers* <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.085>
- [37] Wang S, Peng Y. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chem Eng J* 2010;156(1):11 24.
- [38] Z. Li and R. S. Bowman, "Sorption of Chromate and PCE by Surfactant-Modified Clay Minerals," *Environmental Engineering Science*, vol. 15, no. 3, pp. 237-245, 1998/01/01 1998, doi: 10.1089/ees.1998.15.237.
- [39] L. R. Rad, A. Momeni, B. F. Ghazani, M. Irani, M. Mahmoudi, and B. Noghreh, "Removal of Ni²⁺ and Cd²⁺ ions from aqueous solutions using electrospun PVA/zeolite nanofibrous adsorbent," *Chemical Engineering Journal*, vol. 256, pp. 119-127, 2014/11/15/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.066>.
- [40] H.-J. Choi, S.-W. Yu, and K. H. Kim, "Efficient use of Mg-modified zeolite in the treatment of aqueous solution contaminated with heavy metal toxic ions," *Journal of the*

Taiwan Institute of Chemical Engineers, vol. 63, pp. 482-489, 2016/06/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.03.005>.

[41] A. Dąbrowski, Z. Hubicki, P. Podkościelny, and E. Robens, "Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method," *Chemosphere*, vol. 56, no. 2, pp. 91-106, 2004/07/01/ 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.03.006>.

[42] U. Wingenfelder, C. Hansen, G. Furrer, and R. Schulin, "Removal of Heavy Metals from Mine Waters by Natural Zeolites," *Environmental science & technology*, vol. 39, pp. 4606-13, 07/01 2005, doi: 10.1021/es048482s.

[43] De Viana Javier, "Guía para la disposición y el tratamiento del agua producida", Calgary, Alberta, Canadá., Guía Ambiental de ARPEL No.1

[44] C. A. Franco, F. B. Cortés, and N. N. Nassar, "Adsorptive removal of oil spill from oil-in-fresh water emulsions by hydrophobic alumina nanoparticles functionalized with petroleum vacuum residue," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 425, pp. 168-177, 2014/07/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.03.051>.

[45] C. A. Franco, N. N. Nassar, and F. B. Cortés, "Removal of oil from oil-in-saltwater emulsions by adsorption onto nano-alumina functionalized with petroleum vacuum residue," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 433, pp. 58-67, 2014/11/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.07.011>.

[46] J. P. Villegas, N. Arcila, D. Ortega, C. A. Franco, and F. B. Cortés, "Remoción de hidrocarburos de aguas de producción de la industria petrolera utilizando nanointermedios compuestos por SiO₂ funcionalizados con nanopartículas magnéticas," *DYNA*, vol. 84, pp. 65-74, 2017.

[47] B. S. Al-anzi and O. C. Siang, "Recent developments of carbon based nanomaterials and membranes for oily wastewater treatment," *RSC Advances*, 10.1039/C7RA02501G vol. 7, no. 34, pp. 20981-20994, 2017.

[48] J.-H. Choi, J. Jegal, and W.-N. Kim, "Fabrication and characterization of multi-walled carbon nanotubes/polymer blend membranes," *Journal of Membrane Science*, vol. 284, no. 1, pp. 406-415.

[49] X. Qu, P. J. J. Alvarez, and Q. Li, "Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment," *Water Research*, vol. 47, no. 12, pp. 3931-3946, 2013/08/01/ 2013.

[50] Lv Y, Liu H, Wang Z, Liu S, Hao L, Sang Y, et al. Silver nanoparticle-decorated porous ceramic composite for water treatment. *J Membr Sci* 2009;331:50-6

[51] Kim J, der Bruggen BV. The use of nanoparticles in polymeric and ceramic membrane structures: review of manufacturing procedures and performance improvement for water treatment. *Environ Pollut* 2010;158:2335-49.

[52] J. Zhang *et al.*, "Graphene oxide/polyacrylonitrile fiber hierarchical-structured membrane for ultra-fast microfiltration of oil-water emulsion," *Chemical Engineering Journal*, vol. 307, pp. 643-649, 2017/01/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.124>.

[53] M. M. Pendergast and E. M. V. Hoek, "A review of water treatment membrane nanotechnologies," *Energy; Environmental Science*, 10.1039/C0EE00541J vol. 4, no. 6, pp. 1946-1971, 2011, doi: 10.1039/C0EE00541J

[54] H. Choi, E. Stathatos, and D. D. Dionysiou, "Sol-gel preparation of mesoporous photocatalytic TiO₂ films and TiO₂/Al₂O₃ composite membranes for environmental

applications," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 63, no. 1, pp. 60-67, 2006/03/22/ 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2005.09.012>.

[55] X. Chen, L. Hong, Y. Xu, and Z. W. Ong, "Ceramic Pore Channels with Inducted Carbon Nanotubes for Removing Oil from Water," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 4, no. 4, pp. 1909-1918, 2012/04/25 2012, doi: 10.1021/am300207b.

[56] R. Molinari et al., "Study on a photocatalytic membrane reactor for water purification," *Catalysis Today*, vol. 55, no. 1, pp. 71-78, 2000/01/05/ 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(99\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(99)00227-8).

[57] S. S. Madaeni and N. Ghaemi, "Characterization of self-cleaning RO membranes coated with TiO₂ particles under UV irradiation," *Journal of Membrane Science*, vol. 303, no. 1, pp. 221-233, 2007/10/15/ 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.07.017>

[58] A. M. A. El Nagggar, M. R. Noor El-Din, M. R. Mishrif, and I. M. Nassar, "Highly Efficient Nano-Structured Polymer-Based Membrane/Sorbent for Oil Adsorption from O/W Emulsion Conducted of Petroleum Wastewater," *Journal of Dispersion Science and Technology*, vol. 36, no. 1, pp. 118-128, 2015/01/02 2015, doi: 10.1080/01932691.2014.888520.

[59] B.-H. Jeong et al., "Interfacial polymerization of thin film nanocomposites: A new concept for reverse osmosis membranes," *Journal of Membrane Science*, vol. 294, no. 1, pp. 1-7, 2007/05/15/ 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.02.025>.

[60] M. L. Lind et al., "Influence of Zeolite Crystal Size on Zeolite-Polyamide Thin Film Nanocomposite Membranes," *Langmuir*, vol. 25, no. 17, pp. 10139-10145, 2009/09/01 2009, doi: 10.1021/la900938x.

[61] H. S. Lee, S. J. Im, J. H. Kim, H. J. Kim, J. P. Kim, and B. R. Min, "Polyamide thin-film nanofiltration membranes containing TiO₂ nanoparticles," *Desalination*, vol. 219, no. 1, pp. 48-56, 2008/01/25/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.06.003>.

[62] S. Mondal and S. R. Wickramasinghe, "Produced water treatment by nanofiltration and reverse osmosis membranes," *Journal of Membrane Science*, vol. 322, no. 1, pp. 162-170, 2008/09/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.05.039>.

[63] Y. Yurekli, "Removal of heavy metals in wastewater by using zeolite nano-particles impregnated polysulfone membranes," (in eng), no. 1873-3336 (Electronic).

[64] G. S. Lai, W. J. Lau, P. S. Goh, A. F. Ismail, N. Yusof, and Y. H. Tan, "Graphene oxide incorporated thin film nanocomposite nanofiltration membrane for enhanced salt removal performance," *Desalination*, vol. 387, pp. 14-24, 2016/06/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.03.007>.

[65] P. Pal, "Chapter 7 - Nanotechnology in Water Treatment," in *Industrial Water Treatment Process Technology*, P. Pal Ed.: Butterworth-Heinemann, 2017, pp. 513-536.

[66] I. Gehrke, A. Geiser, and A. Somborn-Schulz, "Innovations in nanotechnology for water treatment," (in eng), *Nanotechnology, science and applications*, vol. 8, pp. 1-17, 2015, doi: 10.2147/NSA.S43773.

[67] M. A. Lazar, S. Varghese, and S. S. Nair, "Photocatalytic Water Treatment by Titanium Dioxide: Recent Updates," *Catalysts*, vol. 2, no. 4, 2012, doi: 10.3390/catal2040572.

[68] D. F. Ollis, "Integrating Photocatalysis and Membrane Technologies for Water Treatment," *Annals of the New York Academy of Sciences*, <https://doi.org/10.1111/j.1749->

[6632.2003.tb05993.x](https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2003.tb05993.x) vol. 984, no. 1, pp. 65-84, 2003/03/01 2003, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2003.tb05993.x>.

[69] K. R. Kunduru, M. Nazarkovsky, S. Farah, R. P. Pawar, A. Basu, and A. J. Domb, "2 - Nanotechnology for water purification: applications of nanotechnology methods in wastewater treatment," in *Water Purification*, A. M. Grumezescu Ed.: Academic Press, 2017, pp. 33-74.

[70] Q. Li et al., "Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications," *Water Research*, vol. 42, no. 18, pp. 4591-4602, 2008/11/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.015>.

[71] EL TIEMPO, "Logran controlar las bacterias en los campos petroleros", 1pp

[72] F. Hossain, O. J. Perales-Perez, S. Hwang, and F. Román, "Antimicrobial nanomaterials as water disinfectant: Applications, limitations and future perspectives," *Science of The Total Environment*, vol. 466-467, pp. 1047-1059, 2014/01/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.009>.

[73] A. Baruah, V. Chaudhary, R. Malik, and V. K. Tomer, "17 - Nanotechnology Based Solutions for Wastewater Treatment," in *Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment*, A. Ahsan and A. F. Ismail Eds.: Elsevier, 2019, pp. 337-368.

[74] F. Perreault, A. F. De Faria, S. Nejati, and M. Elimelech, "Antimicrobial properties of graphene oxide nanosheets: why size matters," *ACS nano*, vol. 9, no. 7, pp. 7226-7236, 2015.

[75] Y. Kikuchi, K. Sunada, T. Iyoda, K. Hashimoto, and A. Fujishima, "Photocatalytic bactericidal effect of TiO₂ thin films: dynamic view of the active oxygen species responsible for the effect," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 106, no. 1, pp. 51-56, 1997/06/01/ 1997, doi: [https://doi.org/10.1016/S1010-6030\(97\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S1010-6030(97)00038-5).

[76] N. Jones, B. Ray, K. T. Ranjit, and A. C. Manna, "Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms," (in eng), *FEMS Microbiol Lett*, vol. 279, no. 1, pp. 71-6, Feb 2008, doi: [10.1111/j.1574-6968.2007.01012.x](https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2007.01012.x).

[77] N. M. Franklin, N. J. Rogers, S. C. Apte, G. E. Batley, G. E. Gadd, and P. S. Casey, "Comparative Toxicity of Nanoparticulate ZnO, Bulk ZnO, and ZnCl₂ to a Freshwater Microalga (*Pseudokirchneriella subcapitata*): The Importance of Particle Solubility," *Environmental Science & Technology*, vol. 41, no. 24, pp. 8484-8490, 2007/12/01 2007, doi: [10.1021/es071445r](https://doi.org/10.1021/es071445r).

[78] M. S. Rahaman, C. D. Vecitis, and M. Elimelech, "Electrochemical carbon-nanotube filter performance toward virus removal and inactivation in the presence of natural organic matter," *Environmental science & technology*, vol. 46, no. 3, pp. 1556-1564, 2012.

[79] A. S. Brady-Estévez, T. H. Nguyen, L. Gutierrez, and M. Elimelech, "Impact of solution chemistry on viral removal by a single-walled carbon nanotube filter," *water research*, vol. 44, no. 13, pp. 3773-3780, 2010.

[80] N. Beyth, Y. Houry-Haddad, A. Domb, W. Khan, and R. Hazan, "Alternative antimicrobial approach: nano-antimicrobial materials," (in eng), *Evid Based Complement Alternat Med*, vol. 2015, p. 246012, 2015, doi: [10.1155/2015/246012](https://doi.org/10.1155/2015/246012).

[81] A. E. Burakov *et al.*, "Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review," *Ecotoxicology and Environmental*

Safety, vol. 148, pp. 702-712, 2018/02/01/ 2018, doi:
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.034>.

[82] F. Li, X. Wang, T. Yuan, and R. Sun, "A lignosulfonate-modified graphene hydrogel with ultrahigh adsorption capacity for Pb(ii) removal," *Journal of Materials Chemistry A*, 10.1039/C6TA03779H vol. 4, no. 30, pp. 11888-11896, 2016, doi: 10.1039/C6TA03779H.

[83] C. Lu, H. Chiu, and C. Liu, "Removal of Zinc(II) from Aqueous Solution by Purified Carbon Nanotubes: Kinetics and Equilibrium Studies," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 45, no. 8, pp. 2850-2855, 2006/04/01 2006, doi: 10.1021/ie051206h.

Anexo C

NÚMERO DE RADICADO: 20-01-17

ESTUDIANTE 1

APELLIDOS: VELOSA ORTIZ.
NOMBRES: EDWARD HERNANDO
CÓDIGO: 5161485
TEL: 3017253315

E-MAIL: edward.velosa@estudiantes.uamerica.edu.co



ESTUDIANTE 2

APELLIDOS: MOSQUERA SERRANO
NOMBRES: TALIA DAMARIS
CÓDIGO: 5132813
TEL: 3125041861

E-MAIL: talia.mosquera@estudiantes.uamerica.edu.co



TÍTULO DEL PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DEL HIERRO EN EL AGUA DE FLOWBACK EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES EN ROCA GENERADORA A PARTIR DE UNA NANOPARTÍCULA MAGNÉTICA CON UN FLOCULANTE NATURAL MEDIANTE LABORATORIO.

PALABRAS CLAVES: Propiedades fisicoquímicas, floculación/coagulación, test jarras, nanopartícula magnética.

ÁREA DE INVESTIGACIÓN: Tratamiento de aguas.

COBERTURA DEL PROYECTO: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín-
Facultad de minas, Fundación Universidad de América.

CAMPO DE INTERÉS: Universidad Nacional de Colombia, Fundación Universidad de América.

EMPRESA SOPORTE TECNICO-FINANCIERO: Universidad Nacional de Colombia

EJECUTIVO REPRESENTANTE DE LA EMPRESA: Ing. Camilo Andrés Franco Ariza.

DIRECTOR: Ing. Camilo Andrés Franco Ariza.

PROFESIÓN: Ingeniero de Petróleos.

E-MAIL: caafrancoar@unal.edu.co

TELEFONO: 3217590770

TARJETA PROFESIONAL: 6578

BOGOTA D.C 11 de mayo de 2020

**SEÑORES
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA DE PETROLEOS
FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DES AMERICA
BOGOTA D.C.**

Respetados señores

Por medio de la presente y actuando en calidad del director de la propuesta de anteproyecto para el Trabajo de Grado que lleva por título:

EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DEL HIERRO EN EL AGUA DE FLOWBACK EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES EN ROCA GENERADORA A PARTIR DE UNA NANOPARTÍCULA MAGNÉTICA CON UN FLOCULANTE NATURAL MEDIANTE LABORATORIO

presentada por los estudiantes: Edward Hernando Velosa Ortiz y Talía Damaris Mosquera Serrano, me comprometo a ayudar con el soporte técnico y administrativo requeridos para su desarrollo a fin de que este proyecto logre los resultados esperados por los estudiantes, para la Universidad de América, la industria y el sector de hidrocarburos de Colombia.

Cordialmente:



Camilo Andrés Franco Ariza

BOGOTÁ, D.C., 11 de mayo de 2.020

**SEÑORES
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
BOGOTA D.C.**

Ref: Presentación del anteproyecto

Estimados Señores:

En cumplimiento del procedimiento de la Universidad para la elaboración del Trabajo de Grado nos permitimos presentar para los fines pertinentes el **ANTEPROYECTO** correspondiente a la propuesta aprobada y radicada con el número 200117 que lleva por título:

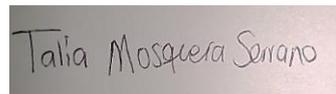
“EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DEL HIERRO EN EL AGUA DE FLOWBACK EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES EN ROCA GENERADORA A PARTIR DE UNA NANOPARTÍCULA MAGNÉTICA CON UN FLOCULANTE NATURAL MEDIANTE LABORATORIO

Cordialmente:

Firmas:



Edward Hernando Velosa Ortiz
Código: 5161485



Talía D. Mosquera Serrano
Código: 5132813

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

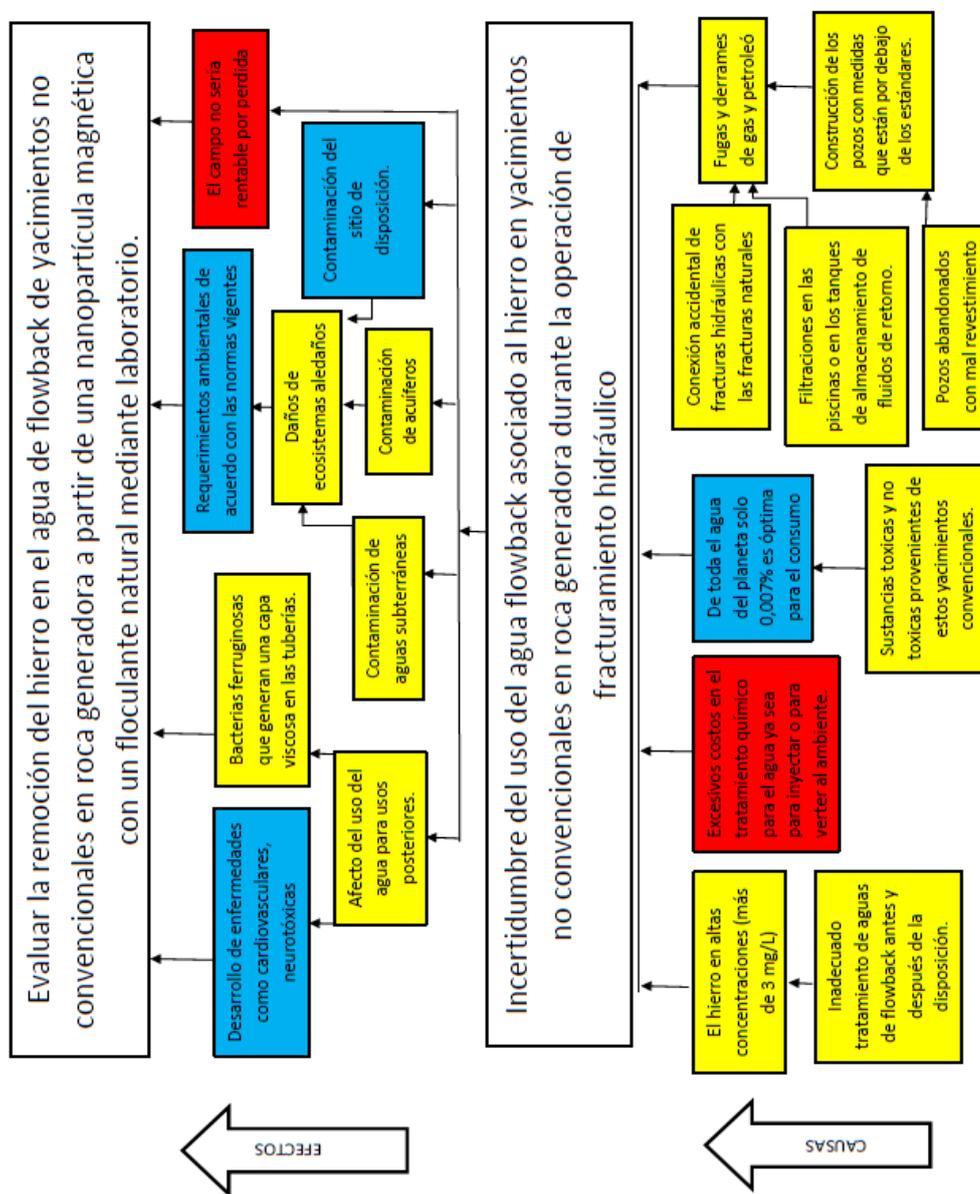
La perforación de pozos año tras año genera mucha pérdida de dinero, problemas operacionales y problemas ambientales en los fluidos que se está trabajando: aceite, gas y agua. Del agua su mayor enfoque son los altos índices de sales, sólidos suspendidos, metales pesados, como son el hierro, sodio, cloruro, sólidos disueltos entre otros. Algunos no son tan peligrosos de los ya mencionados, pero ningún elemento se encontrará puro y esto requiere remover la mayor cantidad posible de todos estos componentes y de esta forma crear una mejor solución para retirar los que son más tóxicos como lo son el níquel, cobre y cromo entre otros, así que, se trata de dirigir el agua a los parámetros estipulados ambientalmente para un mejor uso de estas aguas de retorno o también denominadas de Flowback.

En los yacimientos no convencionales, que se caracterizan por sus condiciones geológicas poco favorables, las empresas operadoras que realicen fracturamiento hidráulico deben disponer adecuadamente de las aguas para cumplir con las normas ambientales exigidas en Colombia ya sea en reinyección, en los mismos yacimientos o disponerlas en fuentes hídricas cercanas en las que podrían generar daños en los ecosistemas aledaños, generando imprudencias que terminen en el cierre del pozo y creando así pérdidas económicas.

Conforme a esto se necesita un tratamiento de limpieza arduo, por eso se enfoca el proyecto en el hierro, ya que este metal en altas concentraciones y depositado en ríos o mares puede traer consigo afectación biótica en estos ecosistemas, enfermedades cardiovasculares o neurotóxicas y/o afectar el uso a futuro del agua por bacterias ferruginosas producidas al entrar en contacto con la tubería, teniendo en cuenta lo anterior se requiere prevenir al máximo su presencia en las aguas dispuestas.

Teniendo como referencia la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 donde se especifica que el hierro debe estar máximo en 3 mg/L y económicamente puede reducir costos en estos tratamientos y con base a los avances tecnológicos realizados en la industria, impulsa el interés sobre el proceso de fracturamiento hidráulico en roca generadora, impulsa la utilización, a futuro, la combinación del floculante natural a base de Médula de plátano con la nanopartícula magnética para la eliminación de los componentes tóxicos para el medio ambiente, y por ende el problema se ve proyectado como la **Incertidumbre del uso del agua flowback asociado al hierro en yacimientos no convencionales en roca generadora durante la operación del fracturamiento hidráulico..**

1. ÁRBOL DEL PROBLEMA



2. ANTECEDENTES

En este estudio con el título “Coagulantes y Floculantes Naturales Usados en la Reducción de Turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales” del año 2017, se realizó el compendio de información referente a la facultad de coagulación y floculación de metales pesados, sólidos en suspensión, turbidez, colorantes y pedido químico de oxígeno presentes en aguas residuales mediante el uso de extractos derivados de fuentes naturales, los cuales fueron buscados, analizados y caracterizados quince plantas diferentes y

dos de animales, con información científica encontrada con esta característica de coagulación y floculación, siendo cambiados por coagulantes químicos. Es significativo destacar, que para resultados objetivamente buenos en la actividad de coagulación y floculación es esencial tener en cuenta los efectos de algunos factores como el pH del agua, cantidad de coagulante y concentración preliminar de los contaminantes. En los conocimientos científicos se reportan diferentes coagulantes y floculantes derivados de fuentes naturales, los cuales se están investigando constantemente como sustitutos de los coagulantes químicos convencionales, por lo que los usos de coagulantes sintéticos en los procedimientos de tratamiento de agua están afectando el medio ambiente. Diversos estudios mostraron la facultad de agentes coagulantes y floculantes extraídos de fuentes naturales con porcentajes de eliminación de contaminantes con inclusive más del 90%. Los resultados de los estudios reportan que las diferentes fuentes naturales utilizadas como coagulantes para remediación de agua y aguas residuales tienen un gran potencial como opción ante coagulantes inorgánicos, debido a su toxicidad con el medio ambiente.

Incertidumbre del uso del agua flowback asociado al hierro en yacimientos no convencionales en roca generadora durante la operación del fracturamiento hidráulico.

TÍTULO	AUTORES	APORTE
<p>Highly porous polymeric composite with γ-Fe₂O₃ nanoparticles for oil products sorption.</p> <p>Compuesto polimérico de alta porosidad con nanopartículas de γ-Fe₂O₃ para la sorción de productos del petróleo.</p>	<p>SA Shirokikh, MY Koroleva, A. Montalvan- Estrada y EV Yurtov – SciELO ISSN 2224- 5421 2019</p>	<p>Es estudio de las propiedades de sorción para limpiar la superficie del agua de productos del petróleo, durante derrames accidentales. El compuesto fue el resultado de una polimerización de una emulsión inversa y la adición de nanopartículas de γ-Fe₂O₃ no tuvo casi efecto a la hora de absorber aceite de la tasa de sorción inicial y la cantidad de agua adsorbida si disminuyó significativamente. La adición de nanopartículas de γ-Fe₂O₃ tuvo poco efecto sobre la cantidad de aceite de transmisión adsorbido. La cantidad de agua adsorbida se ve beneficiado en gran parte por la añadidura de nanopartículas magnéticas.</p>
<p>Crude oil removal from production water using nano-intermediates of a SiO₂ support functionalized with magnetic nanoparticles.</p> <p>Remoción de hidrocarburos de aguas de producción de la industria petrolera utilizando nanointermedios compuestos por SiO₂ funcionalizados con nanopartículas magnéticas.</p>	<p>Villegas, J.P., Arcila, N., Ortega, D., Franco, C.A. and Cortés, F.B., DYNA, 84(202), pp. 65-74, September, 2017</p>	<p>Se muestra el desarrollo de nano intermedios para la adsorción y complementado con una nanopartícula que ayudó a aumentar esa capacidad de adsorción. El principal objetivo de este trabajo es el desarrollo de estos nano intermedios compuestos por un soporte de SiO₂ complementado con nanopartículas magnéticas para la adsorción de hidrocarburos emulsionados en agua.</p> <p>La cascarilla de nuez es un producto del proceso de molienda que se realiza al fruto de este, este producto sin realizarle algún complemento exhibe la facultad de retirar el crudo en plantas.</p>
<p>Characterization of magnetic nanoparticles of CoFe₂O₄ and ZnFe₂O₄ prepared by the chemical co-precipitation method.</p> <p>Caracterización de nanopartículas magnéticas de CoFe₂O₄ y CoZnFe₂O₄ preparadas</p>	<p>J. Lopez, F.J. Espinoza- Beltran, G. Zambrano, M.E. Gómez</p>	<p>Por el método de coprecipitación química usando sales de Co, ZnSO₄ y Fe, en un campo alcalino y se prepararon nanopartículas magnéticas de CoFe₂O₄ y de CoZnFe₂O₄. El razonamiento de coprecipitación química empleado para la recapitulación de nanopartículas magnéticas de CoFe₂O₄ y CoZnFe₂O₄, mostró que teniendo un control estricto del pH y la temperatura durante la</p>

<p>por el método de coprecipitación química.</p>	<p>y P. Prieto. Revista Mexicana de Física 58 293–30 - 2012</p>	<p>estimación química de prontuario, se pueden demorar partículas con grosor nanométrico. Las medidas de difracción de rayos X y de FTIR permitieron contar la presencia del ordenamiento espinel inversa y espinel normal, cualidad de este sujeto de nanopartículas. Así mismo, de los patrones de difracción de rayos-X se logró decidir que el valor del parámetro de red para la manifestación de $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$ es mayor que el parámetro de red para muestra de CoFe_2O_4, adeudado a la quinta de Co por Zn, ya que el radiodifusión atómico del zinc es máximo que el radio atómico del cobalto De otro lado, el barriguita del monóculo, el masa de nanopartícula y el osadía del área coercitivo disminuyeron al sustituir átomos de cobalto por átomos de zinc Lo primero se ve reflejado en el conducta superparamagnético de la portería de histéresis de las nanopartículas de $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$ en símbolo con el postura ferromagnético de las nanopartículas de CoFe_2O_4.</p>
<p>The effect of magnetic nanoparticles on Microcystis aeruginosa removal by a composite coagulant.</p> <p>Los efectos de nanopartículas magnéticas en la eliminación de microcystis aeruginosa por un coagulante compuesto.</p>	<p>Chen Jiang, Ren Wang, Wei Ma – EISERVIER ISSN: 0927-7757 2010</p>	<p>Para la eliminación de un tipo de alga llamada Microcystis aeruginosa usaron un coagulante que estaba constituido por nanopartículas magnéticas y cloruro poliferrico. Se comparó por medio de las dosis del coagulante el rendimiento de la nanopartícula y además las condiciones del pH. Se preparó un coagulante mezclado por nanopartículas magnéticas y cloruro poliférico (PFC) para Microcystis eliminación de aeruginosa. Las nanopartículas magnéticas y el coagulante mezclado se caracterizaron en términos de propiedades típicas, distribución y determinación morfológico (TEM, XRD y FTIR). La coagulación Se compararon los rendimientos de nanopartículas magnéticas / PFC (MPFC) y PFC en diferente contexto de pH y cantidades de coagulante. El agua natural enriquecida con células de M. aeruginosa asimismo</p>

		<p>se investigó para examinar las consecuencias de la materia orgánica natural (NOM) sobre la ocupación de las nanopartículas magnéticas. Los resultados muestran que el coagulante mezclado exhibe una eficacia de coagulación mejorada con valores de eliminación más altos y menor dependencia del pH.</p>
--	--	---

3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se hace con el fin de generar avances en la industria petrolera de la manera más eficaz por medio de la nanotecnología. Aún más, para el fracturamiento hidráulico, ya que cada día crece más la demanda de este proceso que ayuda a facilitar la extracción de hidrocarburo en roca generadora, la expectativa de este proyecto por medio de las nanopartículas magnéticas es estudiar a fondo sus características y ventajas en cuanto a eliminar muchos de sus metales disueltos en el agua de retorno por medio de laboratorio enfocado en el hierro, trabajando para mejorar y disminuir la contaminación ambiental con respecto al fracturamiento hidráulico ya que el agua es el componente principal para fracturar. Concluyendo la importancia del tratamiento del agua de flowback o de retorno, de forma ambiental que es prioritario e indispensable para el mismo proceso del pozo, minimizando las dificultades posibles y contrarrestando daños en la formación o malos procedimientos que lleven a la decisión de abandonar, es por lo que se busca contribuir para disminuir cualquier costo operativo.

Debido a que la cantidad de este metal en exceso puede producir enfermedades cardiovasculares y neurotóxicas, el uso de la médula de plátano es un factor importante que disminuye la utilización de químicos por lo que hace a este proceso más amigable con el medio ambiente y además la médula de plátano se comporta como un polisacárido que funciona como agente de reducción de contaminantes, teniendo en cuenta la utilización de una nanopartícula magnética lleva a la extracción del hierro por medio de campo magnético externo, todos los materiales necesarios son biocompatibles y biodegradables.

De acuerdo con esto se necesita un control de limpieza arduo, para beneficio ambiental, operacional y de salud evitándose al máximo hablar de llegar al límite económico, más conocido como WOR, que corresponde al valor del agua que se trata o se quiere eliminar, que sea igual al beneficio alcanzado por parte del petróleo

Con base a lo nombrado anteriormente se hace uso de un floculante natural orgánico fabricado a partir de la Médula de plátano que por sus características y propiedades son excelentes como coagulantes y adsorbentes, además de esto la nanopartícula magnética de CoFe_2O_4 cuenta con excelentes propiedades magnéticas y de baja toxicidad, ayudando a la creación de la funcionalización de estos dos productos para la remoción del metal, Hierro, y teniendo presente el requerimiento de la resolución 0631 del 17 de marzo del 2015.

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la remoción del hierro en el agua de flowback de yacimientos en roca generadora a partir de una nanopartícula magnética con un floculante natural mediante laboratorio.

Objetivos específicos:

1. Sintetizar la nanopartícula magnética a nivel de laboratorio.
2. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas magnéticas mediante laboratorio
3. Realizar la funcionalización de la nanopartícula magnética sobre el floculante natural a base de médula de plátano
4. Evaluar el tratamiento del agua de retorno simulada a nivel de laboratorio haciendo uso de la nanopartícula magnética con el floculante teniendo en cuenta la Resolución 0631 de 17 marzo de 2015.

5. DELIMITACIÓN

Este trabajo tiene como finalidad la formulación de una nanopartícula magnética de Ferrita de Cobalto sobre el floculante a base de la Médula de plátano, partiendo de esto se dará cumplimiento al primer objetivo haciendo la sintetización de la nanopartícula magnética de ferrita de cobalto que se realiza por el método de coprecipitación química, su preparación es a partir de sales de FeCl_3 y CoCl_2 conservando la proporción 2:1. Se preparará una solución de 25 mL de 0.4 M de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y una solución de 25 mL de 0.2 M de $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Las soluciones se mezclarán y se agitarán durante una hora a 80°C y una vez se alcance la temperatura de reacción se agregará gota a gota muy lentamente una solución de 25 mL de 3 M de NaOH como agente precipitante.

Después de la precipitación la solución se dejará enfriar a temperatura ambiente, y al llegar a la temperatura correspondiente se comenzará con el proceso de lavado y decantación magnética, hasta obtener un valor de pH de alrededor de 10, posterior se adiciona una cantidad específica de ácido oleico a la solución, agitando y calentando nuevamente a 80°C durante dos horas a temperatura constante. Luego se procederá a dejar enfriar la solución a temperatura ambiente, haciendo 2 lavados con agua destilada, etanol y acetona, para remover el exceso de surfactante remanente en la solución. Después se procede a centrifugar a 3000 rpm por 15 minutos para separar el precipitado y finalmente una parte de la muestra se calcina a 600°C durante 10 horas para realizar la caracterización de la muestra en polvo y la otra parte de la muestra se dispersa en etanol en forma de ferrofluido para llevar a cabo la caracterización magnética.

Con base en el segundo objetivo se realizará la caracterización por medio de rayos X medición de difracción (DRX), se usa para calcular el tamaño de nanopartículas y determinar la estructura cristalina, las medidas de espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) se registrarán en un espectrómetro que nos brinda las características químicas de la superficie, de igual manera las medidas de AFM se realizarán en un microscopio de fuerza atómica en modo de no contacto en aire a temperatura ambiente, se realizarán sobre las muestras secas, depositadas en un sustrato de mica y dispersadas con acetona.

Para el cumplimiento del tercer objetivo se realizará la creación del floculante con las fibras de médula de plátano, que se dejan secar y se trituran hasta el punto de pulverización de este producto natural hasta concebir el polvo. Luego de esto se prepara la solución salina de la médula de plátano usando 80 g del polvo con 100 mL de solución salina de (NaCl -1 M) durante un tiempo de 30 minutos, la mezcla se filtra al vacío y se busca que obtenga una concentración de 80% (p/v). Para la preparación de la fusión del coagulante magnético se toma 20 mL de la solución de la médula de plátano y 1 mL de la dispersión de la nanopartícula magnética de ferrita de cobalto y se sonificará durante un tiempo de 5 minutos y posterior a esto se mezclará a temperatura ambiente durante 2 horas.

Con base en el cuarto objetivo, se realizará la simulación de distintos escenarios de aguas de retorno o también denominadas aguas flowback procedentes del fracturamiento hidráulico en roca generadora a nivel de laboratorio, se tiene como parámetro principal la cantidad de mg/L de hierro que se encuentran en este tipo de aguas, por lo que se maneja 3 distintas concentraciones siendo: 10 mg/L, 20 mg/L y 30 mg/L datos que se encuentran en un rango tomado de en un proyecto de grado llamado "El fracturamiento hidráulico y sus

implicaciones normativas y regulatorias para el desarrollo de yacimientos no convencionales en Colombia” en una tabla donde se ilustra los principales constituyentes de aguas de retorno del campo Barnett, Texas y se realizará el tratamiento por medio del test de jarras haciendo el proceso de floculación/coagulación teniendo presente el tiempo, RPM de cada proceso, para el proceso de mezcla rápida (Floculación) los haremos durante 2 minutos de agitación con unas revoluciones de 100 RPM y en el proceso de mezcla lenta (Coagulación) se realizará durante 15 minutos con unas revoluciones de 60 RPM.

Se realizará las pruebas fisicoquímicas correspondientes como de pH, turbidez, clarificación del agua, alcalinidad y concentración de hierro, al agua obtenida antes y después del proceso ejercido, con el fin de determinar la eficiencia de remoción del metal a evaluar y para tener como referencia la concentración máxima estipulada en la resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 (Artículo 11)

La Universidad de América facilitará la ayuda de 4 orientadores capacitados que estarán a disposición para el seguimiento de la construcción del proyecto. De igual manera la Universidad de América garantizará un servicio continuo con respecto a toda la información que se necesite, ya sea consultas virtuales, consultas literarias y consulta a la base de datos de entes correspondiente que enfatizen los temas a tratar en este proyecto.

El proyecto tendrá una duración de 4 meses. Se contará con la colaboración de la Universidad Nacional de Medellín (Facultad de Minas) y con el director, Ingeniero Camilo Andrés Franco Ariza, que orientará y resolverá cualquier inquietud que se tenga con respecto a todo el proceso informativo y experimental que el proyecto requiera durante todo su periodo de desarrollo.

6. MARCO TEÓRICO

7.1. Yacimientos no convencionales

En general se habla de un yacimiento convencional a una roca o grupo de rocas con características de porosidad y permeabilidad definidas que permiten acumulación y movimiento de fluidos de hidrocarburos provenientes de otra roca generadora. En la descripción de un yacimiento no convencional, el cambio se encuentra cuando las condiciones geológicas se caracterizan por la restricción del movimiento del fluido que se encuentra en ella. De las características que podemos encontrar en estos yacimientos es la baja o casi nula permeabilidad, el hidrocarburo tiene una alta viscosidad. El fluido de interés se puede encontrar en su mayoría en la roca generadora, debido a lo anteriormente mencionado, la que se denominará también como roca almacén.

7.1.1. Roca generadora

Una roca generadora o igualmente llamada roca madre es la roca en que se acumula la materia orgánica derivado de animales y vegetales que quedaron incorporados en el lodo del fondo de mares y lagos. Este término se emplea para determinar rocas ricas en materia orgánica que son o han sido capaces de generar hidrocarburos para formar yacimientos económicamente explotables.

7.1.2. Agua de retorno o flowback

Cuando se utilizan técnicas de estimulación hidráulica se usa agua en un casi 99% y el resto son aditivos químicos y arena y una fracción del fluido que se inyectó regresa, posteriormente, a la superficie (habitualmente, próximo al 30%, entre las dos y las cuatro primeras semanas). Esta “agua de retorno” o flowback no es potable, ya que contiene el remanente de los aditivos químicos utilizados –buena parte se degrada o queda en la formación estimulada-, cloruros, sales y un alto contenido de carbonatos.

7.2. Floculantes

Ayudan a que las finas partículas suspendidas de agregados formen flóculos más grandes, de modo que los sólidos pueden separarse del agua más fácilmente. Los floculantes se utilizan para limpiar el agua del proceso de flotación a fin de reducir el consumo de reactivos y mejorar la recuperación. También se emplean para tratar el agua de descarga de modo que se cumplan las rigurosas normas ambientales. Algunos factores que afectan la floculación son:

- Gradiente de velocidad: Si la velocidad supera el rango recomendado, este puede romper el floc.
- Tiempo de agitación
- Composición química del floc

7.2.1. Floculantes Naturales Orgánicos

Los floculantes orgánicos están compuestos por componentes de la naturaleza que son biocompatibles para la remoción de los contaminantes presente en aguas de formación, debido a sus propiedades son considerados elementos de alta eficiencia.

7.3. Nanotecnología

Es materia manipulada a nano escala específicamente de 1 a 100 nanómetros, a nivel nanométrico entre las leyes de la física clásica y de la mecánica cuántica, los efectos cuánticos dan lugar a cambios drásticos en las propiedades de los materiales adoptando nuevos comportamientos y/o propiedades a los cuales se le encuentran múltiples usos en distintos campos, uno de sus más conocidos la medicina. Ahora en el área del petróleo se presentará de manera general las principales aplicaciones de la nanotecnología en la exploración y producción del petróleo y gas pueden agruparse en los siguientes:

- Nanomateriales se ha visto elevando la resistencia que permiten mejorar el desempeño de dispositivos mecánicos a elevada presión y temperatura, a la vez que pueden ser empleados para elaborar recubrimiento de protección mecánica y química.
- Nanosensores que han sido ayuda para caracterizar yacimientos de hidrocarburos en lo que se refiere a la naturaleza de sustrato y las características fisicoquímicas de los fluidos, así como mejorar el estudio imagenológico del yacimiento.
- Nanopartículas las cuales han sido sintetizadas con fines diversos tales como: adsorción de asfaltenos en la prevención de daños de la formación en la recuperación mejorada del petróleo; dado su tamaño pueden penetrar en los poros de la roca e incrementar la eficiencia del desplazamiento del petróleo, así mismo mejoran algunas propiedades físicas del fluido que desplaza el crudo, tales como viscosidad, densidad, conductividad térmica y capacidad calorífica; permiten además el aumento en la velocidad de desplazamiento del crudo en los poros de la roca.
- Fluidos inteligentes que se han usado en dispersiones de sólidos nanométricos en líquidos a bajas concentraciones o dispersiones coloidales de surfactantes y/o polímeros en líquidos, empleados en la completación, producción y estimulación de pozos; tales fluidos inducen el cambio de mojabilidad del sustrato sólido del yacimiento, reducen las fuerzas de dragado y actúan como aglomerantes en la consolidación de arenas.

7.3.1. Nanopartículas magnéticas

Las nanoestructuras son en su mayoría cristalinas, lo que significa que sus miles de átomos presentan un ordenamiento regular en el espacio, en lo que se denomina red cristalina. En el caso de la bio-distribución de las nanopartículas, esta depende en gran medida de la ruta de síntesis, tamaño y forma. Las partículas magnéticas de tamaño nanométrico (diámetros menores de 100 nm) pueden ser preparadas mediante diversos procedimientos. Normalmente estas partículas son obtenidas usando métodos de precipitación, donde la principal dificultad radica en tener nanopartículas mono dispersas.



Fuente: Las nanopartículas magnéticas y múltiples aplicaciones

Las propiedades magnéticas que poseen las nanopartículas de hierro previenen la aglomeración magnética cuando se dispersan los metales, y de esta manera resulta más sencillo su eliminación del medio acuoso. La adición de pequeñas moléculas como ligandos a las nanopartículas puede ser también un factor que aumente la afinidad de estos compuestos por metales específicos. El uso de nanopartículas magnéticas para extraer metales pesados del agua ha sido demostrado por un número importante de investigadores

7.4. Test de jarras

La prueba de jarras es una técnica de laboratorio que pretende realizar una simulación del proceso de clarificación del agua que se lleva a cabo en la planta, de manera que permite evaluar a escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso de clarificación la variación de los diferentes parámetros como velocidad y/o tiempo de agitación, gradientes de velocidad producidos, dosificación de diversos compuestos químicos solos o en combinaciones, etc.

La prueba de jarras se usa para:

- Evaluar, determinar y optimizar las variables químicas del proceso de coagulación y/o floculación, esto es, medir el desempeño de uno o varios productos químicos dados, coagulante, floculante, etc., y encontrar la dosificación adecuada, tanto en términos de calidad final del agua obtenida, como en términos económicos. Determinar la concentración de la solución de coagulante más apropiada para utilizar en la planta.
- Encontrar el punto o etapa de dosificación adecuado para el producto que se ensaya.
- Evaluar y comparar el desempeño de una combinación de productos frente a:
 - Forma y secuencia de dosificación óptima de cada uno de ellos.
 - Punto o etapa ideal de dosificación.
 - Influencia en el proceso de la concentración de los químicos dosificados.
 - Determinación del pH óptimo de coagulación.
- En operación, tomar decisiones rápidas sobre la dosificación de químicos a utilizar de acuerdo con las variaciones en la calidad del agua cruda.
- Evaluar los efectos de modificaciones en las condiciones de operación de la planta sobre el proceso de clarificación.

7. HIPÓTESIS

El desarrollo de un nanomaterial basado en la medula de plátano funcionalizada con las nanopartículas magnéticas de ferrita de cobalto permitirá la remoción del hierro proveniente de un yacimiento no convencional que posibilitará una descontaminación más eficiente de las aguas flowback mediante procesos biocompatibles y biodegradables de floculación/coagulación.

8. DISEÑO METODOLÓGICO

El proyecto que se realizará es de tipo práctico que será evaluado a nivel de laboratorio por medio de test de jarras para determinar la efectividad de remoción del metal (Hierro), este desempeño se determinará por pruebas químicas, que se tendrán los valores de las variables medidas. Las actividades para realizar son las siguientes: primero se obtiene la materia prima para la creación del floculante y de la nanopartícula magnética de ferrita de cobalto y se le hace su caracterización fisicoquímica correspondiente a la nanopartícula magnética y se sintetiza la misma. Por otra parte, la fabricación del floculante a base de Médula de plátano siendo por pruebas de laboratorio donde se realice la funcionalización de estos dos componentes.

Luego, se realiza una simulación de los distintos escenarios planteados de las aguas contaminadas para la identificación de las cantidades de cada componente contaminante y el desarrollo de las pruebas necesarias para determinar las condiciones fisicoquímicas iniciales del agua contaminada. A este punto se realiza el test de jarras con la funcionalización de la nanopartícula magnética de ferrita de cobalto sobre el floculante de Médula de plátano, llegando a hacer un análisis visual del proceso de floculación/coagulación, determinando los parámetros fisicoquímicos posterior al proceso de test de jarra para la identificación de la eficiencia en la remoción de los componentes, especialmente del metal (Hierro) para comparar con los requisitos máximos de la concentración de hierro de acuerdo con la resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 (Artículo 11).

9. DISEÑO TEMÁTICO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES

1.1.1. ROCA GENERADORA

1.1.2. AGUA DE RETORNO O FLOWBACK

1.2. FLOCULANTES

1.2.1 FLOCULANTES NATURALES

1.3. NANOTEGNOLOGÍA

1.3.1. NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS

1.4. TEST DE JARRAS

1.4.1. PROCESO

1.4.1.1. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES

1.4.1.2. DESARROLLO DE LA PRUEBA

2. METODOLOGÍA Y DATOS

2.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

3. RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4. CONCLUSIONES

5. RECOMENDACIONES

6. BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS

10. BIBLIOGRÁFICA

- J. Lopeza, F.J. Espinoza-Beltran, G. Zambrano, M.E. Gómez y P. Prieto (2012) “Caracterización de nanopartículas magnéticas de CoFe_2O_4 y $\text{CoZnFe}_2\text{O}_4$ preparadas por el método de coprecipitación química”
- Delmárcio Gomes Da Silva (2014) “Desenvolvimento, Síntese e caracterização de nanopartículas magnéticas hidrofílicas e lipofílicas para aplicação em nanotecnologia do petróleo”
- Miguel Díaz, Lester Rivas, Ditter Fernández, Daylén Salazar, Sandra Miller y Nora la Maza (2017) “Selección de programa químico de tratamiento para aguas residuales oleosas”
- Villegas, J.P., Arcila, N., Ortega, D., Franco, C.A. and Cortés, F.B.(2017)“Remoción de hidrocarburos de aguas de producción de la industria petrolera utilizando nanointermedios compuestos por SiO_2 funcionalizados con nanopartículas magnéticas”
- Bravo Gallardo M.A (2017) “COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES USADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, COLORANTES Y METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES.”
- SA Shirokikh, MY Koroleva, A. Montalvan-Estrada y EV Yurtov (2019) “Compósito polimérico de alta porosidad con nanopartículas de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ para la sorción de productos del petróleo”
- Naranjo Plata D.P. (2016)“Técnicas, normativa y recomendaciones para la gestión ambiental de la aplicación de la Fractura Hidráulica (fracking) en Colombia”
- Suarez Santana M.A. (2013)“El Fracturamiento Hidráulico y sus Implicaciones Normativas y Regulatorias para el Desarrollo de Yacimientos No Convencionales en Colombia”
- Higuera Lopez C.C. (2018)“ANÁLISIS DE LOS RIESGOS OPERACIONALES Y AMBIENTALES DEL FRACKING EN LOS ESTADOS UNIDOS”
- Fabian Alexis Aranguren Campos, Zuly Calderón Carrillo y José Manuel Usuriaga Torres (2017) “Metodología selectiva de tecnologías para el tratamiento de fluidos de retorno post-fractura y reúso de agua en el fracturamiento hidráulico en yacimientos en roca generadora – una estrategia para reducir los impactos ambientales en colombia”

11. CRONOGRAMA

EVALUAR DE LA REMOCIÓN DEL HIERRO EN EL AGUA DE FLOWBACK EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES EN ROCA GENERADORA A PARTIR DE UNA NANOPARTÍCULA MAGNÉTICA CON UN FLOCULANTE NATURAL MEDIANTE LABORATORIO.																	
Actividades	Mes/Año	ago-20			sep-20					oct-20				nov-20			
	Semana	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4
Recopilación de información bibliográfica																	
Sintetización de la nanopartícula magnética en laboratorio																	
Creación del floculante en laboratorio																	
Simulación de los distintos escenarios en laboratorio																	
Pruebas de laboratorio tipo test de jarras																	
Pruebas fisicoquímicas																	
Recopilación de datos																	
Validación de datos teniendo en cuenta la resolución 0631 de 2015																	
Resumen y comparación de resultados																	
Enunciación de conclusiones y recomendaciones																	
Manifiesto del documento de proyecto de grado																	
Finalización del proyecto de grado																	
Observaciones																	
Línea de control (%)		5	10	15	20	25	30	35	45	50	60	70	75	85	90	95	100

12. PRESUPUESTO

Items				
Talento humano	\$/h	No. Horas	Total	Fuente financiadora
Investigador	\$ 12.500	600	\$ 7.500.000	
Director	\$ 300.000	16	\$ 4.800.000	ESTUDIANTES
Auxiliar	\$ 8.000	200	\$ 1.600.000	ESTUDIANTES
Total de talento humano	\$ 320.500	816	\$ 13.900.000	
Gastos maquinaria y equipo	\$/prueba	No. Pruebas	Total	Fuente financiadora
pH	\$ 34.000	6	\$ 204.000	U. AMERICA
Alcalinidad	\$ 23.000	6	\$ 138.000	U. AMERICA
Turbiedad	\$ 23.000	6	\$ 138.000	U. AMERICA
Rayos X	\$ 250.000	6	\$ 1.500.000	U. AMERICA
Total maquinario y equipo	\$ 330.000		\$ 1.980.000	
Fungibles	\$/h	No. Horas	Total	Fuente financiadora
Laboratorios	\$ 150.000	72	\$ 10.800.000	U. AMERICA
Impresiones y fotocopias			\$ 500.000	ESTUDIANTES
Total fungibles			\$ 11.300.000	
Costo total del proyecto			\$ 27.180.000	

Bogotá DC, mayo 26 de 2020

SEÑORES

Estudiantes Seminario Trabajo de Grado

Ingeniería de Petróleos

Departamento de Energías

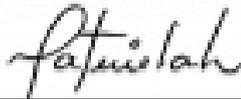
Facultad de Ingenierías

Fundación Universidad de América

Apreciados estudiantes,

En Sesión de Comité de Trabajo de Grado del día 26 de mayo 2020 se ha aprobado por unanimidad el contenido de su Anteproyecto de Trabajo de Grado teniendo en cuenta los lineamientos de la Guía Metodológica de la Universidad de América, y que lleva por Título y Número de Radicado los indicados en la Portada aprobada en las Sesiones de Sustentación y que está adjunta en la primera página de este documento.

Cordialmente,



Yatrielish Isabel Pirela Roperó
Docente Ingeniería de Petróleos.



Adriana Milena Henso Bejarano
Docente Ingeniería de Petróleos.



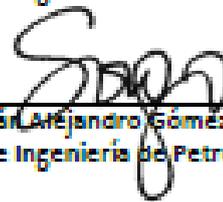
Edinson Enrique Jiménez Bracho
Docente Ingeniería de Petróleos.



Nelson Fernández Barrero
Docente Ingeniería de Petróleos.



Jorge Andrés Tovar Moreno
Docente Ingeniería de Petróleos.



Sebastián Alejandro Gómez Alba
Docente Ingeniería de Petróleos.



Juan Carlos Rodríguez Esparza
Programa Ingeniería de Petróleos
Director Departamento de Energías

Anexo D

Bogotá, D. C., 23 de noviembre de 2020

SEÑORES COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
BOGOTÁ D.C

Ref.: Modificación de anteproyecto

Estimados señores, comité de grado:

Por medio de la presente los estudiantes Talía Damaris Mosquera Serrano y Edward Hernando Velosa Ortiz pertenecientes al programa de ingeniería de petróleos, identificados por los códigos 5132813 y 5161485 respectivamente.

En cumplimiento del procedimiento de la Facultad para la modificación del anteproyecto de trabajo de grado. Solicitamos realizar modificaciones en el anteproyecto presentado anteriormente para verificar su trazabilidad y seguimiento todo esto como medida de contingencia a causa de la emergencia sanitaria por el Covid-19.

OBJETIVO: Realizar la solicitud de modificación anteproyecto, como medida de contingencia a causa de la emergencia sanitaria por el Covid-19.

Referencia: 200117

	APROBADO (Anteproyecto)	MODIFICADO
TITULO	EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DEL HIERRO EN EL AGUA DE FLOWBACK EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES EN ROCA GENERADORA A PARTIR DE UNA NANOPARTÍCULA MAGNÉTICA CON UN FLOCULANTE NATURAL MEDIANTE LABORATORIO	METODOLOGÍAS PARA LOS TRATAMIENTOS NANOTECNOLÓGICOS PARA LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES DEL AGUA DE PRODUCCIÓN EN CAMPOS PETROLÍFEROS.

OBJETIVO GENERAL	Evaluar la remoción del hierro en el agua de flowback de yacimientos en roca generadora a partir de una nanopartícula magnética con un floculante natural mediante laboratorio.	Realizar una revisión crítica acerca del uso de la nanotecnología para el tratamiento de las aguas de producción en la industria petrolera.
OBJETIVOS ESPECIFICOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sintetizar la nanopartícula magnética a nivel de laboratorio. 2. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas magnéticas mediante laboratorio. 3. Realizar la funcionalización de la nanopartícula magnética sobre el floculante natural a base de médula de plátano. 4. Evaluar el tratamiento del agua de retorno simulada a nivel de laboratorio haciendo uso de la nanopartícula magnética con el floculante teniendo en cuenta la Resolución 0631 de 17 marzo de 2015. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigar los avances tecnológicos en el proceso de tratamiento de aguas de producción en base a la nanotecnología. 2. Clasificar la información encontrada de acuerdo al nanomaterial utilizado y el contaminante a remover. 3. Analizar los efectos y beneficios de cada proceso
OBSERVACIONES		

Anexos:

DELIMITACIÓN:

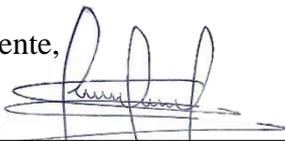
Este trabajo tiene como finalidad la recopilación de información relacionada en el tratamiento de aguas a partir de la nanotecnología empleada en la industria petrolera, partiendo de esto se dará cumplimiento al primer objetivo haciendo la investigación de los avances, técnicas y/o métodos de la nanotecnología en el tratamiento de aguas de producción de la industria petrolera realizada en años anteriores, se hará la búsqueda de información enfocada por medio de artículos ya publicados y revistas donde se encuentren revisiones y datos concluidos.

Con base en el segundo objetivo se realizará la clasificación de la información encontrada de investigaciones finiquitadas, de tal manera, dividir las en varias secciones con el fin de tener mayor claridad de cada tratamiento desempeñado, esto se hará basándose en el nanomaterial utilizado y del contaminante nombrado a remover en cada proceso.

Para el cumplimiento del tercer objetivo se realizará el análisis respectivo de cada proceso identificando los efectos, beneficios entre otros datos importantes, a partir de ello dar unas conclusiones en donde se llegue a identificar la calidad de los procesos y además que tipo de tratamiento es el más indicado para la eliminación y/o reducción de los componentes tóxicos o no beneficiosos para dar un uso posterior a estas aguas de producción de la industria petrolera. La Universidad de América facilitará la ayuda de la geóloga Adriana Milena Henao Bejarano orientadora capacitada que estará a disposición para el seguimiento de la construcción del trabajo de grado y artículo. De igual manera la Universidad de América garantizará un servicio continuo con respecto a toda la información que se necesite, ya sea consultas virtuales, consultas literarias y consulta a la base de datos de entes correspondiente que enfatizan los temas a tratar en este proyecto.

El proyecto tendrá una duración de 4 meses. Se contará con la colaboración de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín (Facultad de Minas) y con el director, Ingeniero Camilo Andrés Franco Ariza, que orientará y resolverá cualquier inquietud que se tenga con respecto a todo el proceso informativo y experimental que el proyecto requiera durante todo su periodo de desarrollo.

Cordialmente,



EDWARD HERNANDO VELOSA ORTIZ

Código: 5161485



TALÍA DAMARIS MOSQUERA SERRANO

Código: 5132813



CAMILO A. FRANCO, Ph.D

Caafrancoar@unal.edu.co

Director