



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Aportes de los adsorbentes como alternativas de solución frente
a los derrames de petróleo crudo. Revisión Sistemática 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Espinoza Perez, Yenifer Pilar (ORCID: [0000-0002-1508-1865](https://orcid.org/0000-0002-1508-1865))

Llatas Inga, José Jhonnderley (ORCID: [0000-002-6758-451X](https://orcid.org/0000-002-6758-451X))

ASESOR:

Dr. Fernando Antonio Sernaque Aucchuasi (ORCID: [0000-0003-1485-5854](https://orcid.org/0000-0003-1485-5854))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A nuestras familias y amigos cercanos quienes nos incentivaron a realizar y concluir con nuestras metas, dedicamos a ellos con mucha gratitud.

Yenifer Pilar y José Jhonnderley

Agradecimiento

Agradecemos al divino por estar presente en nuestros caminos.

Al Dr. Fernando Sernaque por su asesoramiento y orientación que nos fue de gran apoyo para la realización de nuestra investigación y poder concluir con nuestras metas.

Agradecemos a nuestros padres y familiares por brindarnos su apoyo moral para lograr los objetivos trazados.

Yenifer Pilar y José Jhonnderley

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1. Tipo y diseño de investigación	19
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización	19
3.3. Escenario de estudio.....	21
3.4. Participantes.....	21
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
3.6. Procedimiento.....	21
3.7. Rigor científico	23
3.8. Método de análisis de datos.....	24
3.9. Aspectos éticos.....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
V. CONCLUSIONES	42
VI. RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS.....	44
ANEXOS	54

Índice de tablas

Tabla 1. Algunas de las principales filtraciones que ocurrieron en el mundo.....	14
Tabla 2. Métodos de limpieza de derrames de hidrocarburos	16
Tabla 3. Tipos de adsorbentes y sus propiedades.....	17
Tabla 4. Matriz de categorización apriorista	20
Tabla 5. Tipos de absorbentes en el tratamiento de los derrames de petróleo crudo	27
Tabla 6. autores y tipos de absorbentes.....	29
Tabla 7. composición de los absorbentes en el tratamiento de derrame de petróleo crudo.	31
Tabla 8. condiciones operativas.....	36

Índice de figuras

Figura 1. Tendencia de los incidentes de derrames de petróleo	14
Figura 2. Año de publicación de los artículos analizados.....	26
Figura 3. Distribución de uso de tipos de absorbentes	28
Figura 4. Distribución de los materiales de composición	34
Figura 5. Capacidad de absorción según los artículos.....	39

Resumen

Este trabajo de investigación es de nivel cualitativo que tuvo como objeto identificar y determinar el aporte de los adsorbentes frente a los derrames de petróleo crudo. Se trabajó mediante una revisión sistemática a 28 artículos científicos de datos mediante instrumentos la ficha de recolección de datos (Anexo1), asimismo tomando en cuenta los criterios descritos en dichas fichas como criterios para la recolección de datos. Los resultados evidenciaron que los diferentes tipos de adsorbentes son una alternativa en el tratamiento de derrame de petróleo crudo, debido a las propiedades y condiciones que poseen, los tipos de adsorbentes evidenciados en esta revisión fueron los sintéticos 46%, orgánicos 29 %, nanoadsorbentes 14% e inorgánicos 11%, los cuales tuvieron una gran variedad de composición a partir del tipo de adsorbentes como: fibras naturales, fuentes agrícolas, polímeros sintéticos, arcillas y nano partículas. También se analizó las condiciones de operatividad las cuales variaron según las composiciones y tipos de adsorbentes, entre ellas ángulo de contacto, capacidad de absorción, hidrofobicidad, oleofilicidad, etc, del mismo modo en las revisiones mostraron una buena capacidad de absorción los que evidencia que una gran alternativa ante los problemas de derrame de petróleo crudo.

Palabras clave: petróleo, adsorbentes, absorción, hidrofobicidad, oleofilicidad.

Abstract

This research work had a qualitative level and its purpose was to identify and determine the contribution of adsorbents against crude oil spills. The present research work had a qualitative approach whose objective was to identify and determine the contribution of adsorbents against crude oil spills. A systematic review of 21 scientific data articles was carried out using the data collection form (Annex 1) as instruments, taking into account the criteria described in said data sheets, taking into account the criteria of the data collection form. The results showed that the different types of absorbers are an alternative in the treatment of crude oil spills, due to the properties and conditions they possess, the types of absorbers evidenced in this review were synthetic with 46%, with an organic 29 %, nanoabsorbers 14%, and inorganic 11% which had a great variety of composition from the type of absorbers used in the investigations. The operating conditions were also analyzed, which varied according to the compositions and types of absorbers, including contact angle, retention capacity, hydrophobicity, oleophilicity, in the same way in the manifestations they showed a good absorption capacity, which show that a great alternative in the face of crude oil spill problems.

Keywords: oil, adsorbents, absorption, hydrophobicity, oleophilicity.

I. INTRODUCCIÓN

Alrededor de 5 millones de toneladas de petróleo se transportan por año dentro del mar en todo el mundo. Se genera un alto impacto cuando se derrama petróleo o sus derivados, afectando a todo el ecosistema alrededor del accidente, incluyendo aspectos económicos y de salud humana. Entre 2010 y 2013, se estimó que se liberaron 22000 toneladas de petróleo en ambientes marinos y el 48% se deriva del petróleo en forma de combustibles (Nikkhah et al., 2015, p. 2).

La producción de petróleo logró superar los 4400 millones de toneladas correspondientes a aproximadamente el 32% de la demanda mundial de energía, y toda esta demanda aumenta las posibilidades de derrames y pérdidas, principalmente por los medios marítimos, que sufrieron un transporte de casi 14000 billones toneladas-milla, refiriéndose a más del 90% del volumen de todo el petróleo transportado (Al-Majed et al., 2012; Galieriková y Materna, 2020, p. 18). Las consecuencias económicas son altas, ya que el costo de limpiar cualquier contaminación puede oscilar entre 20 dólares por litro y 200 dólares por litro, pero sobre todo llama la atención la presencia de daños ambientales severos (Abdullah, Rahmah y Man 2010, p.15).

Para eludir tales eventos de derrame, comúnmente se aplican tecnologías basadas en aislamiento y recolección de petróleo, además del uso de métodos químicos como la aplicación de dispersantes, solidificantes, agentes bio reductores e incluso la quema in situ de combustible disperso (Ge et al. 2014, p.26). Sin embargo, tales métodos han demostrado ser ineficientes, de alto costo y capaces de generar contaminantes secundarios a partir del intento de remediación. Los recientes derrames de petróleo, como lo sucedido recientemente en la costa peruana, han motivado la investigación para indicar la viabilidad de planes de acción y tecnologías rápidas y económicas (Nikkhah et al. 2015, p.15). Dependiendo del tipo de aceite, la escala del derrame y la ubicación del accidente, se debe elegir el adsorbente adecuado. Los materiales minerales utilizados con la finalidad de limpiar los derramen mediante la forma de gránulos o polvos (p. ej., zeolitas, minerales arcillosos, adsorbentes de sílice) tienen una serie de propiedades que los convierten en adsorbentes apropiados para limpiar eficazmente el petróleo derramado (Xiong et al. 2014, p.17).

De esta manera, el número de estudios que están interesados en el método de aplicación de adsorbentes ha aumentado y ha demostrado la aplicabilidad de varios de estos materiales en escenarios de derrames (Sardi et al. 2020, p. 30). El uso de agentes adsorbentes se ha expandido debido a sus altas capacidades de sorción, que actúan en la renovación del medio marino, así como recuperar el petróleo perdido, de bajo costo, además de las posibilidades de regeneración y reutilización (Annunciado et al., 2005; p. 26). Los materiales sorbentes utilizados se pueden clasificar genéricamente en materiales inorgánicos, orgánicos sintéticos y orgánicos naturales (Dong et al. 2012, p. 36), sin embargo, los de mayor aplicación actualmente son de origen sintético como las espumas de poliuretano (Li, Yin y Li 2019, p. 19), aunque las de origen natural son más preferibles durante años por su abundancia y biodegradabilidad (Lim y Huang, 2007, p.13).

Dependiendo del escenario de aplicación en términos de tipo, volumen y de petróleo derramado, además de la severidad del uso de estos materiales adsorbentes naturales, sus capacidades de sorción y estabilidad dinámica pueden no ser suficientes para resolver el problema, limitando cada adsorbente a entornos muy específicos de derrames (Doshi, Sillanpää y Kalliola 2018, p. 16). Además, un aumento en la demanda de estos materiales de origen natural genera la perspectiva de perjudicar su disponibilidad debido a la estacionalidad de ciertos productos agrícolas. Más allá de eso, se han desarrollado nuevos materiales con propiedades avanzadas de hidrofobicidad, compacidad y selectividad del aceite en forma de nanomateriales y materiales grafénicos para el tratamiento de derrames (Diraki et al. 2019; Riaz, McKay y Saleem 2017, p. 31), así como una nueva línea de reutilización de residuos se ha establecido para agregar valor a favor del atractivo ambiental en forma de adsorbentes (Al Zubaidi, Al Tamimi y Ahmed 2016, p. 51).

Esta revisión se centrará en los aportes de diferentes adsorbentes con el objetivo de conocer la alta capacidad de sorción del petróleo crudo que pueden poseer dependiendo de su tipo, composición y condiciones operativas. La adsorción es simple por lo cual es muy útil y tiene una gran eficiencia. La elección de los adsorbentes/absorbentes depende de varios factores, como la disponibilidad, el costo y el uso seguro de los materiales adsorbentes.

Por lo expuesto, se plantea como problema general: ¿Cuál será el aporte de los adsorbentes frente a los derrames de petróleo crudo?, del problema general se derivaron los siguientes problemas específicos: ¿Cuáles son los tipos de adsorbentes que contribuyen en el tratamiento de los derrames de petróleo crudo?, ¿Qué materiales componen los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo? y ¿Cuáles son las condiciones operativas de aplicación de los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo?

La presente investigación tiene una justificación teórica en base a la problemática actual del derrame de petróleo crudo y la contaminación que produce, esta actividad ha tenido un crecimiento en las últimas décadas y ante ello surgieron alternativas de solución y tratamientos las cuales se dieron a través de las distintas investigaciones realizadas y publicadas para tomarse en cuenta en los próximos usos. Así mismo, esta investigación se desarrolla con la finalidad de proporcionar conocimiento sobre las soluciones frente a los derrames de petróleo crudo; para ello, se realiza la recopilación de las distintas investigaciones respecto a la aplicación de los adsorbentes en el tratamiento de derrame de petróleo crudo, a través de una revisión sistemática sintetizando los resultados encontrados e integrando los hallazgos de diversos autores y con ello la labor de investigación sea más factible hacia un futuro.

De los problemas de investigación planteados, se extrae como objetivo general: determinar el aporte de los adsorbentes frente a los derrames de petróleo crudo y como objetivos específicos: identificar los tipos de adsorbentes que contribuyen en el tratamiento de los derrames de petróleo crudo, identificar los materiales que componen los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo y establecer las condiciones operativas de aplicación de los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo.

II. MARCO TEÓRICO

Ngofa et al., (2022), tuvieron como objetivo de investigación realizar la síntesis de carbón activado (CA) a partir de diversos materiales de desecho agrícola, bambú y fibras de banano, ya que una de las metodologías o aplicaciones más prometedoras en el tratamiento de derrames de petróleo constituye una alta capacidad de sorción. La característica fisicoquímica de las muestras de CA sintetizadas se analizó mediante espectros FTIR y fisisorción de N_2 . Más específicamente, las muestras de CA derivadas del bambú a una temperatura de activación de 550°C indican el área de superficie específica más alta ($2760,47 \text{ m}^2/\text{g}$) y una capacidad de sorción de $3,3678 \text{ g/g}$ con el volumen total de poros, volumen de mesoporos, volumen externo área superficial de $3,364 \text{ cm}^3/\text{g}$, $1,811 \text{ cm}^3/\text{g}$ y $1601,634 \text{ m}^2/\text{g}$, respectivamente, y capacidad máxima de sorción de aceite de $4,418 \text{ g/g}$ para CA derivadas de las fibras del banano con relación de activación 7:1 (H_3PO_4) y área superficial de $2172,234 \text{ m}^2/\text{g}$.

Hammouda et al., (2021) investigaron enfoques novedosos para eliminar el petróleo del agua a base de materiales adsorbentes celulósicos. Un método ecológico emergente de bajo costo se basa en el uso de adsorbentes a base de celulosa no tóxicos y biodegradables para la recuperación de petróleo y la recuperación del agua. Los resultados de la revisión destacan el uso potencial de los nanocristales de celulosa y las nanofibrillas de celulosa como materiales absorbentes con propiedades muy deseables para limpiar los derrames de combustible. Con propiedades hidrofóbicas y oleófilas únicas (en términos de selectividad del petróleo) y propiedades fisicomecánicas (gran área base y tamaño de poro pequeño), los adsorbentes a base de celulosa pueden ser un material alternativo ideal para usar en la remoción de caídas de petróleo. Finalmente se obtiene que, la combinación de propiedades hidrofóbicas y magnéticas mediante la introducción de nanopartículas de óxido de hierro ofrece una alta reutilización y funcionalidad, fácil operación y fácil separación de los adsorbentes a base de celulosa; por lo tanto, ofrecería un nuevo enfoque contra derrames de petróleo y desafíos de ensuciamiento. Además, su reutilización después de la absorción de aceite sirve como pasos adicionales para la sostenibilidad.

Ma et al., (2021) investigaron el efecto fototérmico mediante la utilización de la energía solar como medio de energía para calentar los componentes del petróleo pesado para reducir significativamente sus viscosidades y lograr una limpieza rápida del crudo. Se fabricó una espuma de poliuretano a base de lignina modificada con nanotubos de carbono (CNT) como un sorbente fototérmico que exhibió una capacidad de adsorción excepcional para el petróleo pesado. La espuma modificada logró una absorción casi total de la luz solar (97%) y su temperatura superficial alcanzó los 90,3°C en 500 s debido al excelente efecto fototérmico de los CNT. El calentamiento solar resultante redujo efectivamente la viscosidad del petróleo pesado, lo que permitió que la espuma modificada se adsorbiera rápidamente más de seis veces ($6,34 \pm 0,27$ g/g) de su peso de petróleo crudo en 6 minutos bajo la iluminación de un sol ($1,00$ KW/ m²). Mientras tanto, los adsorbentes de espuma a base de lignina fueron degradables en ambientes alcalinos y los CNT se pueden recuperar de la misma condición. Podían alcanzar una eficiencia de degradación del 88,03% en una solución acuosa de NaOH de 2 mol/L a 80°C durante 10 h, y la tasa de degradación era de 6,25 mg/h. Este trabajo proporciona una solución prometedora para abordar los derrames de petróleo crudo viscoso en grandes áreas.

Dawodu et al., (2021) tuvieron como objetivo la preparación de un nuevo compuesto de biocarbón de cáscara de plátano y feldespato (FBPC) con hidrofobicidad mejorada para la sorción de petróleo crudo. La sorción por lotes determinó el tiempo de contacto (30 min – 150 min), temperatura (25°C – 100°C), pH (2 – 10), concentración de aceite (4 g/L – 12 g/L) y dosis de sorbente (0,1 g – 0,5 g) en la sorción. El análisis SEM de FBPC reveló una estructura porosa, mientras que XRD confirmó las fases cristalinas del feldespato. Las muestras de petróleo crudo tenían pH (6,40 – 6,60), densidad ($0,960$ g/cm³ - $0,962$ g/cm³), viscosidad cinemática (24,0 cSt – 27,6 cSt) y gravedad API (24,25° – 24,51°). El análisis termodinámico reveló una disminución de la aleatoriedad en la interfase petróleo crudo-FBPC. Se encontró que el FBPC preparado era un sorbente compuesto inorgánico-orgánico eficiente con hidrofobicidad mejorada para la sorción de petróleo crudo.

Sun et al., (2021) investigaron un novedoso adsorbente superhidrofóbico, respetuoso con el medio ambiente, rentable, fácil de producir, de recogida rápida y

con buena reciclabilidad, que se obtuvo mediante la modificación del aerogel carbonoso de biomasa de cáscara de pomelo. La imagen de microscopía electrónica de barrido muestra que el adsorbente superhidrofóbico posee una estructura escalonada cruzada en 3D con túneles de gran diámetro, así como numerosos mesoporos, que brindan una posibilidad para sus características de absorción de aceite. Las capacidades máximas de sorción del adsorbente superhidrofóbico para aceite de soja fueron de aproximadamente 5,8 g/g. El adsorbente superhidrofóbico muestra buena durabilidad con eficacia mantenida hasta 30 ciclos de regeneración probados. Además, el aceite adsorbido se puede recoger rápidamente. Por lo tanto, se concluye que un diseño cuidadoso del aerogel carbonoso de biomasa de cáscara de pomelo podría mejorar aún más las propiedades de absorción de aceite de este tipo de materiales. Es importante destacar que los datos obtenidos recomiendan un material fácil y eficiente que brinde usos factibles en los que respecta a limpiar el petróleo y remover los contaminantes encontrados en las fuentes de agua.

Tayeb et al., (2020), en su investigación fabricaron un nuevo sorbente agregando paja de arroz a un material sorbente hidrofóbico sintético "RP 18". Los datos obtenidos muestran que la paja de arroz podría usarse con éxito para eliminar el petróleo crudo del agua aceitosa. La eficiencia de remoción de paja de arroz alcanzó 94,7% para efluentes con bajas concentraciones de aceite y la capacidad de adsorción fue de 6,67 g aceite/g paja de arroz. También se prueba un material hidrofóbico sintético (RP 18) para determinar su capacidad de absorber aceite preferentemente. Su capacidad de absorción era de 12 g de aceite/g de sorbente. Los resultados experimentales obtenidos se utilizan para desarrollar un nuevo diseño de un filtro de aceite para la lucha contra la contaminación marina.

Yu et al., (2020) investigaron la esponja de caucho, como sorbente foto térmico, mediante una síntesis in situ de un solo paso. La esponja presenta una super hidrofobicidad excelente (ángulo de contacto con agua es de 151°), una alta capacidad de adsorción de aceites y líquidos orgánicos (15 g/g – 67 g/g) y una excelente elasticidad a la compresión de 38,6 kPa. Además, la esponja de caucho muestra una buena capacidad de conversión foto térmica. Bajo iluminación, la viscosidad del petróleo crudo podría reducirse de manera efectiva debido al rápido

aumento de temperatura en la esponja de caucho. Esta respuesta permite que la esponja modificada absorba rápidamente el petróleo crudo, lo que reduce significativamente el tiempo de adsorción de 20 μ L petróleo crudo de 16 h a 19 s en comparación con la de los materiales absorbentes sin capacidad de conversión fototérmica. Debido al excelente rendimiento mecánico, la esponja de caucho podría instalarse en una bomba de vacío para recolectar continuamente petróleo crudo de la superficie del agua. Esta configuración mejora en gran medida la eficiencia de recolección de petróleo crudo. El nuevo material absorbente fototérmico muestra un gran potencial para la recolección de crudo y la limpieza de derrames accidentales.

Anwana Abel et al., (2020) analizaron la sorción de petróleo crudo del agua por medio del hidróxido de potasio (KOH) preparado a partir de carbón activado de fibra de coco CCAC-KOH, se investigó mediante adsorción por lotes bajo parámetros variables como la dosis de adsorbente, el tiempo de contacto, la concentración inicial de aceite, la temperatura y la velocidad de agitación. La modificación morfológica aumentó significativamente la hidrofobicidad del adsorbente, creando así un CCAC con una capacidad de adsorción mucho mejor para la remoción de petróleo crudo con un nivel de sorción máxima de 4859,5 mg/g a 304 K. Los resultados experimentales mostraron que el porcentaje de remoción de aceite crudo aumentó con el aumento de la dosis de adsorbente, el periodo de contacto y disminución de la concentración inicial de aceite. El modelo de isoterma mejor ajustado fue el modelo de Freundlich. El adsorbente preparado mostró una capacidad significativa para usarse como un adsorbente de bajo costo, regenerable y ecológico en la limpieza de derrames de petróleo.

Ferrero et al., (2019) investigaron las microfibras recubiertas de óxido de grafeno reducido (rGO) (GCM) a través de una síntesis sencilla empapando paños de microfibra en dispersiones acuosas de óxido de grafeno (GO) y seguido de reducción con vapores de hidracina en autoclave a 80°C. Las GCM producidas muestran alta hidrofobicidad y oleofilicidad, que pueden usarse para recuperar petróleo crudo de mezclas de petróleo en agua. Las mediciones del análisis termogravimétrico mostraron que las GCM son estables hasta 300°C. La capacidad máxima de absorción de las GCM es de 6,78 g de aceite por gramo de material con

una reducción del 13,5% tras 10 ciclos de adsorción-desorción. Se lograron remociones del 97,90 % y 87,58 % del petróleo crudo después de una sola aplicación de GCM en mezclas de petróleo y agua al 1 % (v/v) y petróleo y agua de mar artificial, respectivamente. Se han alcanzado concentraciones de aceite por debajo de 35 ppm después de la segunda y quinta aplicación de GCM en mezclas de aceite y agua, aceite y agua de mar artificial, respectivamente. La fuerza de adhesión del recubrimiento rGO se evaluó por diferentes medios, como sonicación y mezcla vigorosa en agua; la mayor cantidad de rGO liberada en el agua fue de 8,3 ppm después de 30 minutos de sonicación. Estas propiedades sugieren que las GCM pueden usarse, preparados o combinados en dispositivos de filtrado, como un posible método de recuperación de petróleo en caso de derrames de petróleo.

Davoodi et al., (2019) sintetizaron un adsorbente hidrofóbico químico de bajo costo mediante el método de recubrimiento por inmersión. El sorbente se caracterizó utilizando diferentes métodos. La eliminación de petróleo no convencional del agua mediante dolomita modificada con ácido palmítico se investigó mediante adsorción por lotes después de valores de pH variables (1 a 9), tiempos de contacto (5 min a 80 min), dosis de adsorbente ($0,1 \text{ g mL}^{-1}$ a $0,7 \text{ g mL}^{-1}$), aceite inicial concentración (3000 ppm –7000 ppm), salinidad (0 g mL^{-1} – $0,1 \text{ g mL}^{-1}$) y diferentes temperaturas (299 K y 309 K). El análisis reveló el incremento del nivel máximo de sorción de aceite del adsorbente de alrededor de 64 mg g^{-1} a 498 mg g^{-1} (Dilbit) y de 98 mg g^{-1} a 530 mg g^{-1} (aceite de Bakken) en la mezcla de aceite y agua. Los estudios cinéticos mostraron que la tasa general del proceso de sorción de petróleo podría estar controlada por un químico fuerte, reacción entre las moléculas de aceite lugares activos dentro de la superficie del adsorbente.

Talukdar et al., (2019) investigaron acerca de nanoláminas de C_3N_4 gráficas hidrofóbicas/oleófilas magnéticas que exhiben un buen rendimiento de sorción de aceite y una rápida eliminación del aceite adsorbido mediante un imán externo. La combinación de una estructura porosa y de nanoláminas junto con la funcionalización superficial de ácidos grasos y FeNi_3 magnético hacen que el sistema sea un adsorbente eficiente para adsorber y separar el petróleo crudo del agua. Las láminas de grafito adsorben selectivamente el petróleo crudo con una mejora del espesor de hasta 9 pliegues y una masa de 4,5 veces más que el

sistema de nanocompuestos prístinos. La propiedad de adsorción inteligente de las nanoláminas sintetizadas con FeNi₃ se ha realizado a través de una cinética de adsorción integral y estudios de isothermas inclusivos. El nanocompuesto se puede reciclar y reutilizar de manera ecológica para la adsorción y recuperación de petróleo.

Omer et al., (2019) investigaron un nuevo copolímero injertado de nonanilquitosano-poli (acrilato de butilo) superoleofílico-hidrofóbico como un adsorbente de aceite de bajo costo. Los factores que afectan el proceso de eliminación como tiempo de contacto, tipo de aceite, dosis de aceite, dosis de adsorbente, temperatura y velocidad de agitación fueron optimizadas. Se observó un incremento en la remoción de aceite (%) al aumentar la viscosidad del aceite en el orden de gasoil < mobil-1 oil < crudo ligero < crudo pesado. Además, el proceso de adsorción siguió el modelo de pseudo segundo orden y los datos de equilibrio fueron suficientemente ajustados con el modelo de Langmuir con una capacidad máxima de adsorción de 108,79 g/g a 25°C. Los parámetros termodinámicos calculados a partir del diagrama de Van't Hoff confirmaron que el proceso era exotérmico, favorable y espontáneo. Los resultados nominan al adsorbente superoleofílico como un potencial adsorbente de aceite para la eliminación de derrames de petróleo.

Songsaeng et al., (2019) fabricaron un material adsorbente verde mediante la simple adición de óxido de grafeno reducido (rGO) al látex de caucho natural (NR). Se investigó el efecto del contenido de rGO en la espuma NR sobre la adsorción de aceite de petróleo. La adición de rGO en NR aumentó su nivel como adsorbente para aceite de petróleo de la espuma compuesta NR/rGO (NRG) resultante (12 g.g⁻¹–21 g.g⁻¹) con respecto a la espuma NR pura (8g.g⁻¹–15g.g⁻¹) y una absorbente comercial (6 g.g⁻¹–7 g.g⁻¹). Además, las condiciones ambientales (temperatura y olas) afectaron su nivel de adsorción de petróleo de los adsorbentes. La cinética de sorción de los adsorbentes para el petróleo crudo se describió mejor con una cinética de pseudo-segundo orden. El modelo de difusión entre partículas reveló tres pasos, mientras que las isothermas de adsorción se aproximaron a las isothermas de Langmuir. Además, los mecanismos de adsorción de aceite de los materiales adsorbentes NR y NRG se compararon con los de un adsorbente comercial.

Liu y Wang, (2019) desarrollaron un adsorbente de aceite a base de celulosa utilizando el papel de desecho PS-16 (recortes de kraft mixtos) a través de un proceso de modificación simple. Mediante tratamiento mecánico y aspersion con cera de polietileno y dímero de alquilceteno, se encontró que el producto era significativamente más hidrofóbico que la materia prima, con un ángulo de contacto con el agua de 125,6°. Se estudió la capacidad del producto para absorber aceite de motor, queroseno y xileno, se comparó con otros adsorbentes a base de celulosa. El adsorbente tuvo un excelente desempeño con un alto nivel de absorción de 16 a 28 de su propio peso. Hasta el 92,8% del aceite en los adsorbentes podría reciclarse fácilmente y recolectarse mediante compresión manual. El adsorbente se pudo reutilizar durante ocho ciclos y la capacidad de sorción se mantuvo constante. Por lo tanto, se espera que este adsorbente sea un adsorbente de petróleo prometedor para aplicaciones potenciales como la limpieza de derrames de petróleo.

Choi, (2019), tuvo como objetivo utilizar un bioresiduo agrícola, la mazorca de maíz, como adsorbente eficaz para la remoción de petróleo crudo. Se examinó la eficiencia de adsorción del aceite crudo en mazorca de maíz natural (NCC) y mazorca de maíz en polvo (PCC). Además, se analizó el comportamiento de adsorción del petróleo crudo y los modelos cinéticos utilizados sugieren que el proceso de adsorción se da mediante una reacción superficial. Los datos de la isoterma de equilibrio se analizaron utilizando las isotermas de Langmuir, Freundlich y Dubinin-Radushkevich. Los niveles máximos de adsorción fueron de 4,21 g/g y 7,80 g/g para NCC y PCC, respectivamente. La energía de adsorción obtenida fue de 5,143 kJ/mol para NCC y de 5,768 kJ/mol para PCC. Con base en estos resultados, la adsorción de petróleo crudo usando mazorca de maíz fue un proceso físico. El análisis termodinámico mostró que la energía libre de Gibbs (ΔG) y la entalpía (ΔH) eran ambas negativas y que el proceso de adsorción era exotérmico y espontáneo. Debido a su bajo costo, biodegradabilidad y alta capacidad de adsorción, la mazorca de maíz podría considerarse como una nueva alternativa de adsorbente.

Doshi et al., (2018) investigaron acerca de los materiales de base biológica para el tratamiento de derrames de petróleo. Esta revisión comprende el trabajo realizado

por varios investigadores en el campo de la remoción y recuperación de hidrocarburos vertidos utilizando diversas biomásas y polímeros, ya sea en forma de adsorbentes o separadores. En conclusión, los diferentes adsorbentes de base biológica discutidos en esta revisión tienen tres beneficios en el tratamiento de aguas residuales aceitosas: una fuerte reducción en el contenido de aceite del agua, reutilización de residuos y recuperación de aceite. Se pueden preparar materiales efectivos a partir de recursos de base biológica, pero esto a menudo requiere una modificación significativa y costosa de los materiales nativos. El futuro desafío y prospectivo es generar adsorbentes factibles, ecológicamente respetuosos y en lo posible sin modificaciones para conservar la base biológica de los adsorbentes como la no toxicidad y su biodegradabilidad.

Tang et al., (2018) investigaron la paja de trigo cruda modificada para obtener un nuevo material de absorción de aceite, utilizando ácido palmítico como agente esterificante en dimetilsulfóxido sin catalizadores adicionales. La absorbencia de aceite del material de paja de trigo esterificado frente al diésel alcanzó 24,31 g/g en las siguientes condiciones de reacción óptimas: paja de trigo pretratada: proporción en peso de ácido palmítico de 1:10, calor de reacción de 90°C y periodo de 3 h. La composición química y la estructura de la fibra de paja de trigo antes y después de la reacción de esterificación se compararon por medio de una espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FT-IR), espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS), difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados indican que la reacción de esterificación se llevó a cabo sin problemas, y la paja de trigo posterior tuvo menor cristalinidad y una superficie más rugosa con pliegues más irregulares. Además, también se investigaron la capacidad de sorción de aceite, la selectividad y la cinética de absorción de la paja de trigo esterificado lo cual mostró un buen potencial para convertir residuos agrícolas en adsorbentes de aceite celulósico eficientes.

Ermeng et al., (2017) estudiaron la acetilación de fibra de celulosa extraída con metilbenceno/etanol (2/1), solución de clorito de sodio e hidróxido de sodio de paja de trigo cruda para examinar su potencial como adsorbente de derrames de petróleo. El sorbente celulósico de paja de trigo se produjo utilizando anhídrido acético como reactivo de acetilación y N-bromosuccinimida (NBS) como

catalizador. Efectos de la relación de volumen de anhídrido acético (de 6,25% a 57,5%), concentración de catalizador (de 10 mM a 60 mM NBS), temperatura de reacción (de 50°C a 120°C) y tiempo de reacción (de 0,5 h a 3 h). Se evaluaron las propiedades de sorción de aceite. Se investigaron y compararon la composición química y la estructura morfológica de la paja de trigo cruda antes y después de la acetilación. También se discutieron su nivel de absorción de aceite, el nivel de retención de aceite, la reciclabilidad y la selectividad de la paja de trigo cruda, paja de trigo pretratada y paja de trigo acetilada. La paja de trigo acetilada demostró un buen potencial para la utilización de residuos agrícolas como adsorbentes naturales en la limpieza de petróleo.

Santos et al., (2017) tuvieron como objetivo determinar si la concentración de lignina influye en la síntesis de poliuretano para la adsorción de petróleo crudo.. El análisis FTIR confirmó la formación de enlaces de uretano, mostrando que la estructura química del polímero se conservó, a pesar de la adición de diferentes concentraciones de lignina. El análisis termogravimétrico mostró que la presencia de lignina ha alterado la temperatura de inicio de las espumas, disminuyendo a medida que aumenta la concentración de lignina. El análisis del ángulo de contacto mostró una disminución en la hidrofobicidad de las espumas con el aumento de la concentración de lignina. Todas las espumas modificadas mostraron una mejora en la capacidad de sorción de aceite. La isoterma de Langmuir mostró un mejor ajuste a los datos y predijo una adsorción máxima de aceite de 28,9 g.g⁻¹.

Abdelwahab et al., (2017) investigaron las fibras de palma (PF), como material absorbente natural para la eliminación de derrames de petróleo. El presente estudio examina la eficiencia de sorción y la capacidad de fibras crudas y modificadas para tres tipos de aceite: diesel, crudo y vegetal. Los resultados revelaron que la eficiencia de las fibras para eliminar diferentes tipos de petróleo del agua salina artificial estaba relacionada con el tiempo de sorción y las condiciones del sistema, como el espesor de la película de petróleo, el tamaño de las partículas, la dosis de adsorbente y la temperatura. Los resultados mostraron una alta eficiencia de sorción y capacidad de las fibras de palma para diferentes tipos de aceite. Se demostró que los PF son fibras prometedoras debido a todas las ventajas de los

desechos agrícolas más la alta resistencia de esas fibras que aparecieron en el presente estudio.

Nikkhah et al., (2015) tuvieron como objetivo mejorar la remoción dentro de los contaminantes de aceite del agua, modificando su estructura de la espuma de poliuretano al integrar nanoarcilla. Un 3% en peso de la fracción de nanoarcilla fue la cantidad óptima para incorporar en la morfología de la espuma, mejorando la eficiencia de eliminación en un 56% y elevando la capacidad de adsorción en un 16% del sistema aceite-agua. También se obtuvo como resultado que el 3% y 4% en peso de nanoarcilla tienen a capacidad de reutilización a través de una regeneración química con éter de petróleo y tolueno. La eliminación de aceite tuvo poca eficiencia con las espumas de poliuretano modificadas con nanoarcilla a través de la regeneración química, pero mostró que la capacidad de adsorción mejoró cuando se trabajó con rangos bajos y medios de concentración inicial de aceite logrando reducirlas.

Los hidrocarburos se consideran contaminantes persistentes debido a su dificultad de biodegradación, su bioacumulación en el medio ambiente y sus efectos nocivos para la salud cuando se exponen a ellos (Alfonso 2021,p. 142)

La problemática de derrames ha venido creciendo en las últimas décadas, un ejemplar de este problema es cuando explotó la Plataforma Petrolera Deepwater Horizon - 2010 (Zdanowicz, 2015 y Radovich, 2018), por problemas de fallas de equipos, decisiones, dificultades en el diseño de ingeniería y operativas(Mendoza et al. 2021, p.5)

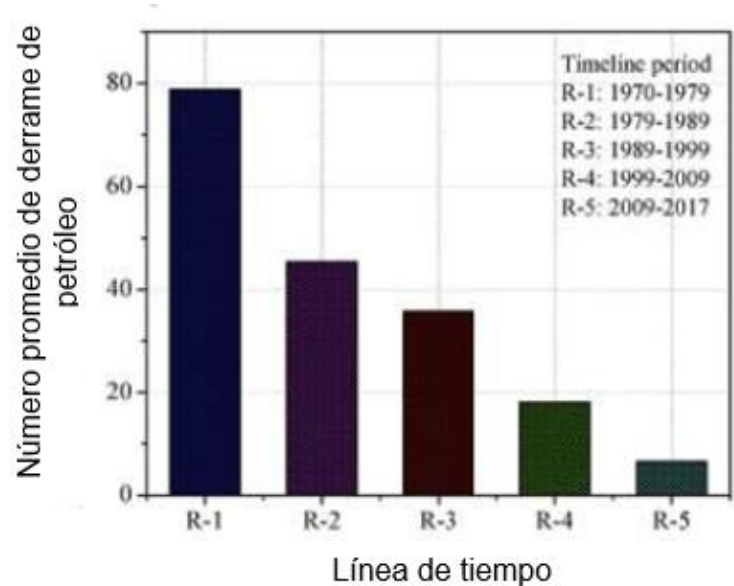


Figura 1. Tendencia de los incidentes de derrames de petróleo

Fuente: Adaptado de (Prabowo y Bae, 2019).

Algunos desastres de derrames de petróleo, como uno en Kuwait en 1991 (240–336 millones de galones), Deep Horizon en 2010 (4,9 millones de barriles) o un derrame de petróleo reciente en el Mar de China Oriental en 2018 (138 miles de toneladas) llevaron a consecuencias que tomó mucho tiempo y un costo muy alto para recuperar y tratar una cantidad tan grande de derrames de petróleo (Chau et al. 2021 p.2)

La Tabla 1 enumera los principales accidentes de derrame, así como las consecuencias de volumen de petróleo y área afectada (Soares et al. 2020, p. 47); también muestra el reciente derrame de petróleo que sufrió la costa peruana el 15 de enero del 2022, en los mares del distrito de Ventanilla en Lima afectando alrededor de 17 playas iniciando de la refinería de La Pampilla y llegando a la playa Peralvillo en Chancay, con más de 500 hectáreas de áreas naturales protegidas dañando toda flora y fauna que estos albergan. (INDECI 2022, p. 187).

Tabla 1. Algunas de las principales filtraciones que ocurrieron en el mundo.

Evento	Año	Cantidad derramada	Extensión del área afectada
Caños de Torrey (UK)	1967	37,3 millones de galones	100 millas de costa

Registro de Liberia (Nueva Escocia)	1970	4,9 millones de galones	190 millas de costa
Amoco Cádiz (Francia)	1978	71,5 millones de galones	300 km de costa
Atlántic Empress (Mar Caribe)	1979	90 millones de galones	-
Ixtoc 1 (Golfo de México)	1979	140 millones de galones	-
Odyssey (Mar del Norte)	1988	43 millones de galones	77 km ²
Exxon Valdez (Alaska)	1989	10,9 millones de galones	1900 km de costa
Guerra del Golfo (Kwait)	1990	310 millones de galones	4000 km ²
M/T Harven (Italia)	1991	45 millones de galones	170 acres
Río Kolva (Rusia)	1994	84 millones de galones	186 km ²
Sea Empress (Gales)	1996	20,6 millones de galones	100 km de costa
British Petroleum (Golgo de México)	2010	208,5 millones de galones	790 km de costa
Ventanilla (Lima)	2022	11900 barriles de petróleo	1187 km ² de mar y 1740 km ² de franja de playa-litoral

Fuente: Adaptado de (Al-Majed, Adebayo y Hossain 2012; Al-Jammal et al. 2016)

Los métodos para la recuperación/tratamiento de derrames de petróleo están basados en mecanismos físicos, químicos o biológicos depende de la naturaleza del petróleo, así como de la escala del derrame de petróleo.(Eze et al. 2019,p.6)

Por su parte el petróleo crudo en sí mismo puede penetrar canales macro o neutrales y luego tender a obstruir los poros en las capas externas, evitando una mayor adsorción siendo son difíciles de recuperar de las aguas marinas y costeras.(Nam, Zhang y Chung 2018, p.285)

En términos más generales, los métodos de eliminación de derrames de petróleo se dividen en tres categorías principales:

Recuperación mecánica, donde el petróleo se contiene en un área usando una barrera o barreras naturales y se elimina por gravedad (Cabo 2015, p.147)

Recuperación no mecánica donde se utilizan productos químicos se utilizan contramedidas, básicamente dispersiones, quema o biorremediación para degradar o dispersar la capa de petróleo, tratamiento biológico, coagulación química, electrocoagulación y adsorción (Kong et al. 2015, p. 2).

La recuperación manual donde el petróleo se elimina utilizando herramientas y técnicas manuales simples, como cubos, palas o redes (Cabo 2015,p. 96)

Se utilizaron varias técnicas en desarrollo para la recuperación del derrame de petróleo, como la recuperación mecánica o la quema, especialmente el uso de biorremediación, solidificadores o dispersantes que se consideraron métodos útiles(Hoang, Bui y Pham 2018, p.4915).

Una respuesta a derrames rentable y preferida desde el punto de vista ambiental puede requerir una combinación de métodos de limpieza (lvshina et al. 2015, p. 19). Para hacer frente a este desafío, se han realizado esfuerzos considerables para limpiar los aceites y otros contaminantes orgánicos del agua utilizando diversas técnicas(Eze et al. 2019, p.4) Las diferentes tecnologías para los métodos de limpieza de derrames de petróleo se ilustran en la Tabla 2.

Tabla 2. *Métodos de limpieza de derrames de hidrocarburos*

Método	Ejemplo
Físico	Limpieza con material adsorbente Remoción mecánica Lavado a baja presión
Químico	Dispersantes Agentes gelificantes - solidificantes Surfactantes Quema in situ
Natural	Atenuación natural

Fuente: Adaptado de (Abass O et al., 1970; Damanabi y Bahadori, 2016)

Entre los métodos sugeridos para eliminar derrames de petróleo, la adsorción ha atraído la mayor parte atención, con una necesidad apremiante de encontrar el adsorbente más apropiado, incluida la lana, fibra vegetal , zeolita , aserrín y fibra de madera.(Rahmani et al. 2017, p.9).La Tabla 3 ilustra los materiales más utilizados con sus ventajas y sus desventajas.

Tabla 3. Tipos de adsorbentes y sus propiedades

Tipo de Adsorbente	Ventajas	Desventajas
(i) Materiales de fibra natural y adsorbente orgánico (adsorbentes verdes)		
Fuentes agrícolas y carboles después de la pirólisis de materiales de fibra natural como algodon tallo de maiz, médula de bagazo y lana no tejida.	- Absolutamente respetuoso con el medio ambiente abundantes fuentes naturales. - Biodegradables, no tóxicos, etc. - Materiales de bajo costo.	- Baja capacidad de sorción y son en su mayoría hidrofílicos. - El costo potencial los hace competitivos. - Una de las desventajas del adsorbente de origen vegetal es su alta absorción de agua, lo que resultó en la pérdida de la flotabilidad del adsorbente.
(ii) Adsorbente sintético		
Polímeros sintéticos como polietileno y caucho poliuretano; polipropileno.	- Los polímeros sintéticos ampliamente utilizados debido a sus características hidrofóbicas oleofílicas.	- Los polímeros sintéticos tienen una degradación muy lenta, lo que los convierte en una preocupación ambiental.

- No se encuentran de forma natural como productos minerales.

(iii) Minerales inorgánicos (Los más utilizados)

Perlita, grafito, arcilla, diatomita, vermiculita, grafito, sepiolita y zeolitas

- Alta capacidad de adsorción de 3,5 g a 4,0 g de petróleo/g de sorbente.
- Puede regenerarse.

- Tener una estructura porosa para estos materiales puede absorber activamente agua que puede considerarse como su desventaja, sensibilidad al ensuciamiento y susceptibilidad a los procesos de envejecimiento.

(iv) Nanotubos y Nanopartículas

Copolímero que consta de nanotubos de carbono de pared múltiple modificados (MWCNT), nanopartículas de zeolita granuladas modificadas con bromuro de hexadeciltrimetilamonio y esponjas de nanotubos de carbono magnéticos.

- Excepcional estructura unidimensional y gran área de superficie específica.
- Su naturaleza oleofílica e hidrofóbica.

- La mala solubilidad y capacidad de procesamiento restringen sus aplicaciones.
- Además, debido al tamaño de partícula muy fino, trabajar con este material es demasiado difícil, por lo que se limita a estudios de laboratorio.

Fuente: (Al-Jammal et al. 2016)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Según Hernandez et al., (2014) el presente trabajo fue de tipo aplicado, se enfocó en dar soluciones a diferentes problemas específicos empleando la tecnología, la metodología y el conocimientos científico de otros investigadores en su ambiente natural y contexto (p. 42). Por lo mencionado este trabajo es de tipo aplicado ya que se va a examinar la investigación previa y metodologías de otros investigadores para profundizar sus perspectivas, interpretación y conceptos en el uso de diferentes adsorbentes frente a los derrames de petróleo.

La investigación de enfoque cualitativo presenta un diseño de investigación narrativo de tópico. Según Salgado, (2007) este tipo de diseño, se enfoca en la recolección de datos o resultados de una temática, fenómeno o suceso que serán descritos de manera secuencial y lógica en forma de una texto narrativo (p. 71-78). Por lo expuesto, este trabajo fue de enfoque cualitativo narrativo de tópicos porque profundizará en los aportes que brindan los adsorbentes frente a los derrames de petróleo y será presentada en forma de texto narrativo con una compilación informática específica, de la cual se realizará una extracción sistemática para poder analizar la información y narrar cada acontecimiento, explicado en las diferentes investigaciones científicas.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

La Tabla 4 da a conocer la matriz de categorización indicando los problemas específicos, objetivos específicos planteados, categorías y subcategorías extraídas en función a los problemas y objetivos específicos del trabajo de investigación.

Tabla 4. Matriz de categorización apriorística

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	UNIDAD DE ANÁLISIS
¿Cuáles son los tipos de adsorbentes que contribuyen en el tratamiento de los derrames de petróleo crudo?	Identificar los tipos de adsorbentes que contribuyen en el tratamiento de los derrames de petróleo crudo	Tipos de adsorbentes	Absorbentes orgánicos Absorbentes sintéticos Absorbentes inorgánicos Nano adsorbentes	(Hammouda et al. 2021) (Ma et al. 2021) (Ferrero et al. 2019)
¿Qué materiales componen los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo?	Identificar los materiales que componen los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo	Materiales que componen los adsorbentes	Fibras Naturales Fuentes agrícolas Polímeros sintéticos Arcillas Nano partículas	(Tayeb et al. 2020) (Anwana Abel, Rhoda Habor y Innocent Oseribho 2020) (Sun et al. 2021)
¿Cuáles son las condiciones operativas de aplicación de los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo?	Establecer las condiciones operativas de aplicación de los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo.	Condiciones operativas de aplicación de los adsorbentes	Capacidad de absorción Angulo de contacto Capacidad de retención de petróleo o sus derivados Selectividad Hidrofobicidad Oleofilicidad	(Ngofa et al. 2022) (Dawodu, Abonyi y Akpomie 2021) (Yu et al. 2020)

Fuente: Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

Contexto o ambiente de investigación que representa un escenario con los problemas de la investigación y su propósito (Skovsmose, 1998 p. 122)

Los escenarios de estudio según la revisión bibliográfica consultada fueron en campo y laboratorios donde se prepararon o sintetizaron los diferentes tipos de adsorbentes y se analizó la adsorción de petróleo crudo.

3.4. Participantes

Los participantes serán las diferentes bases de datos de internet como ScienceDirect, Scopus, Google Academic, Scielo, Redalyc, Dialnet, SpringerLink, entre otros, que nos brindan artículos científicos con información confiable.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

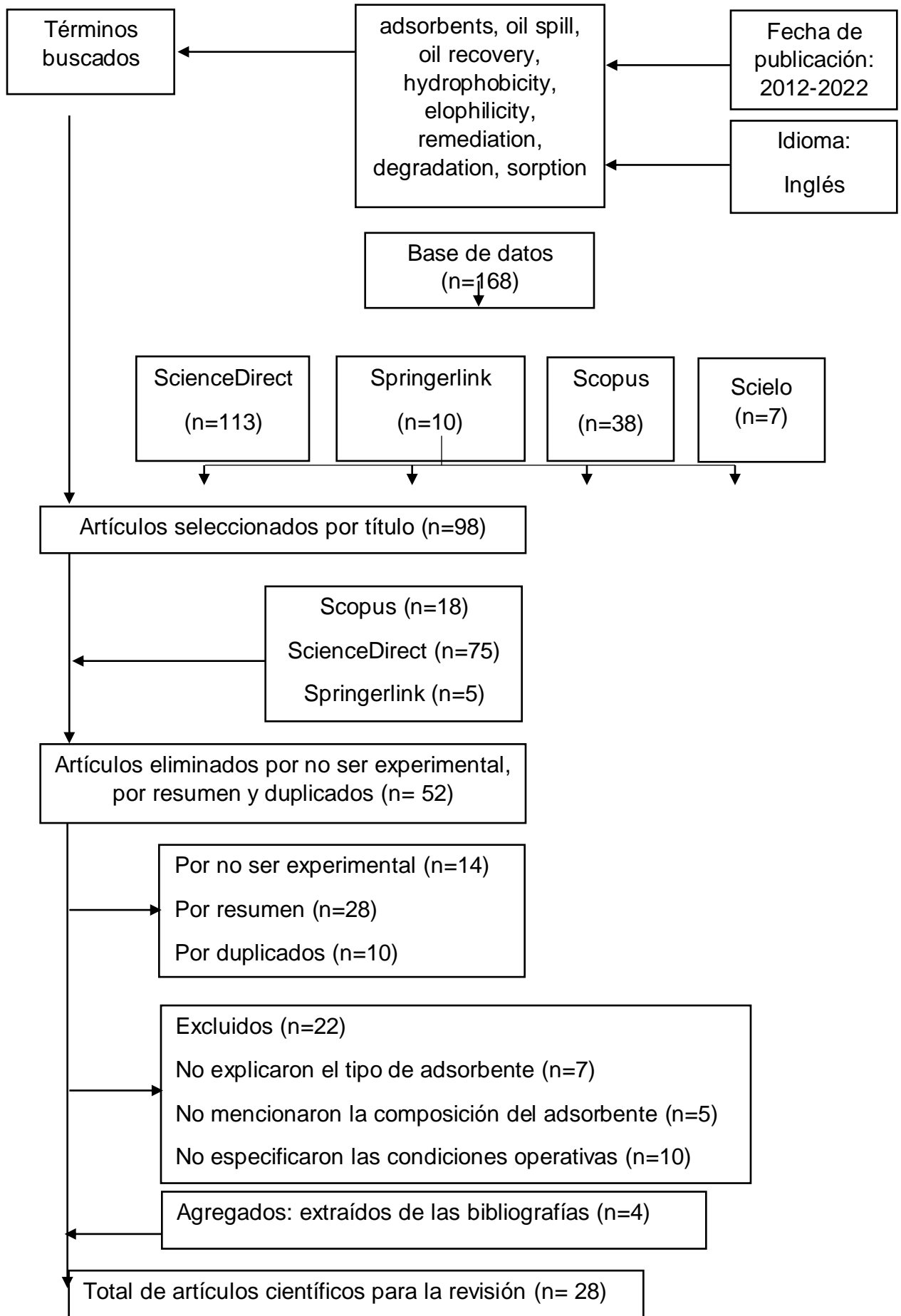
La técnica que se utilizó es de análisis documental, esta técnica consiste en examinar un documento para encontrar sus elementos esenciales y las relaciones entre ellos (Castillo, 2004, p.14), su complejidad proviene de un proceso plural que envuelve una serie de aspectos y elementos propios de otras disciplinas y ciencias de una información contenida en cualquier documento (Peña y Pirella, 2007, p. 56).

Según Hernández y Ávila, (2020) los instrumentos de la recolección de datos son las matrices de análisis (agrupar información de investigaciones analíticas), matrices de registros y categorías (organizar y clasificar datos respectivamente) (p. 59).

Los instrumentos de investigación fueron las fichas de análisis de contenido (anexo 1), donde se consideraron las palabras clave del tema, se necesitó un estudio profundo del tema para poder evaluar los artículos científicos que aportarán información relevante a la investigación, y así lograr un buen análisis del tema.

3.6. Procedimiento

Se evaluará el contenido del resumen de los artículos científicos para analizar los datos relevantes que presentan las investigaciones siguiendo el siguiente procedimiento metodológico.



Para la búsqueda de información se usó los siguientes términos de búsqueda: adsorbents, oil spill, oil recovery, hydrophobicity, elophilicity, remediation, degradation, sorption.

Se consideró como criterios de búsqueda de información, artículos entre los años 2012-2022 y en el idioma inglés. El total de artículos consultados fueron 168 de 4 participantes: ScienceDirect, Springerlink, Scopus y Scielo. De esta base de datos se seleccionó 98 artículos por el título de la investigación, de los cuales 18 eran de Scopus, 75 de ScienceDirect y 5 de Springerlink. Los artículos que se excluyeron fueron 14 por ser investigaciones no experimentales, 28 artículos por no contener información valiosa en el resumen, 10 artículos por ser temas duplicados, 7 artículos que no explicaban el tipo de adsorbente utilizado, 5 artículos que no mencionaban la composición del adsorbente y 10 artículos que no especificaron las condiciones operativas. De la revisión bibliográfica se extrajo 4 referencias de interés que fueron agregados; haciendo un total de 28 artículos elegidos para revisión.

3.7. Rigor científico

La presente investigación cumplió los criterios definidos por Castillo y Vásquez (2003) para cumplir el rigor científico:

Criterio de credibilidad: Este criterio se logra cuando el investigador, recolecta información que son reconocidos en plataformas confiables y son considerados como una verdadera aproximación a la información estudiada (Castillo y Vásquez, 2003, p. 165). El trabajo de investigación cumple con este criterio porque la información empleada fue recolectada de artículos científicos indexados que garantizan una investigación verídica.

Criterio de auditabilidad o confirmabilidad: Este criterio permite que otro investigador evalúe los datos y logre llegar a conclusiones semejantes o iguales siempre y cuando las perspectivas consignadas sean similares a la del investigador original (Castillo y Vásquez, 2003, p. 165). El trabajo de investigación cumple con este criterio porque la información buscó enfoques similares que fueron estudiados previamente por otros investigadores.

Criterio de dependencia o consistencia: Este criterio hace referencia a la estabilidad de los datos. Este es uno de los criterios de mayor controversia entre los investigadores/as cualitativos, porque el logro de la estabilidad es imposible cuando se estudian contextos reales y por tanto irrepetibles (Salgado, 2007, p. 16). El trabajo de investigación cumple con este criterio porque se empleó la información que posee una estabilidad y coherencia en los resultados dado que, las investigaciones consultadas fueron de fuentes con sustento científico.

Criterio de aplicabilidad o transferibilidad: Este criterio permite que los resultados puedan ser transferidos a otras poblaciones de estudio, analizando el ajuste de estos resultados con diferentes contextos. (Castillo y Vásquez, 2003, p.166). El trabajo de investigación cumplirá con este criterio porque, los lectores de la investigación podrán determinar si es posible transferir los resultados que se obtendrán a diferentes contextos de estudio.

3.8. Método de análisis de datos

En la investigación cualitativa la recolección y el análisis de la información son dos procesos que se desarrollan de manera simultánea. El método de análisis de datos consiste principalmente en analizar datos para comprender conceptos, experiencias u opiniones a través del método de recolección de datos con la finalidad de reunir información relevante de un problema de investigación (Carrillo, Leyva-Moral y Medina 2011, p. 46).

El método de análisis de datos se realizó mediante la matriz de categorización que está conformada por las siguientes categorías: tipos de adsorbentes, materiales que componen los adsorbentes y condiciones operativas de aplicación de los adsorbentes.

La categoría, tipos de adsorbentes que comprende las siguientes 4 subcategorías: orgánicos, sintéticos, inorgánicos y nanoadsorbentes. La categoría, materiales que componen los adsorbentes que abarca 5 subcategorías: fibra natural, fuentes agrícolas, polímeros sintéticos, arcillas y nanopartículas. La última categoría: condiciones operativas de aplicación de los adsorbentes comprende las siguientes 6 subcategorías: capacidad de adsorción, ángulo de contacto, capacidad de retención de petróleo y sus derivados, selectividad, hidrofobicidad, oleofilicidad.

3.9. Aspectos éticos

Según Hernandez et al., (2014), la investigación científica debe resaltar tres aspectos fundamentales: la ética, la legalidad y el respeto a los investigadores y lectores. Buscando siempre que el investigador proceda de manera honesta al compartir sus conocimientos y resultados (p. 24).

El trabajo de investigación citó los autores respetando la autoría intelectual y la ética de la universidad, mediante el estilo de referencia ISO 690 constitucional considerando la normativa vigente de la universidad en relación a los trabajos de investigación.

Este trabajo de investigación hizo uso del programa Turnitin con el fin de comprobar la originalidad del mismo, verificando la no copia del trabajo de investigación con un porcentaje de 8% de similitud, los resultados de este estudio son verídicos, no presentan modificaciones acatando la ética del trabajo de investigación

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la metodología aplicada, se hallaron en los últimos 10 años un total de 28 artículos provenientes de Science Direct en los cuales emplearon absorbentes para el tratamiento de derrame de petróleo crudo, usando 4 tipos de absorbentes a base de diferentes materias de composición a las cuales fueron sometidas a diferentes condiciones operativas.

Los artículos analizados estuvieron distribuidos entre los años 2012-2022 como se muestra en la siguiente figura:

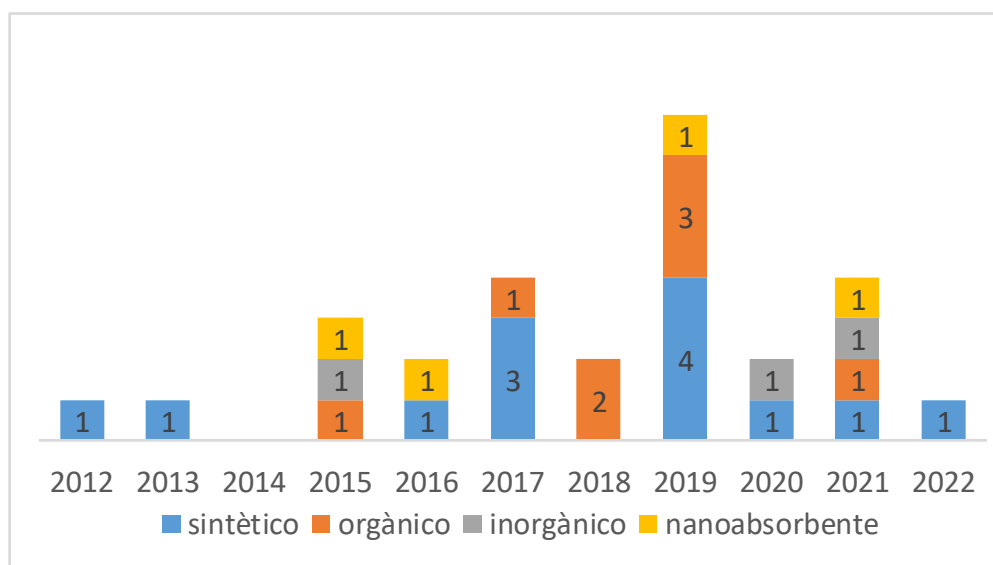


Figura 2. Año de publicación de los artículos analizados.

La figura 2 muestra, la evolución que han tenido las publicaciones referidas a el uso de absorbentes como tratamiento del derrame de petróleo, teniendo en cuenta las limitaciones de las publicaciones consideradas en la metodología, las cuales fueron publicadas en las bases de datos utilizadas, Después de aplicar los criterios de inclusión se retuvieron una cantidad de artículos igual a 28 publicaciones, de los cuales en el año 2012 hubo una investigación, en el 2013 una investigación, 2014 cero investigaciones, 2015 tres investigaciones, 2016 dos investigaciones, 2017 cuatro investigaciones, 2018 dos investigaciones, 2019 ocho investigaciones, 2020 dos investigaciones, 2021 cuatro investigaciones, 2022 una investigación, De este grupo en el gráfico se muestra que en el año 2019 tuvo un mayor auge siendo los absorbentes sintéticos más estudiados en este periodo, mientras tanto en el 2014 no existió

publicación adaptada a los criterios de esta investigación, las cuales también reflejan el problema de derrame de petróleo fueron agudizando al pasar de los años siendo diversos países los afectados buscando así nuevas alternativas para las investigaciones que se vinieron dando.

Para el objetivo general, se analizó primero los objetivos específicos en base a ellos y los resultados obtenidos de la recopilación de información de los 28 antecedentes estudiados en el marco teórico en función al tipo de absorbente que contribuyen en el tratamiento de los derrames de petróleo crudo, los materiales de su composición y las condiciones permitieron obtener los siguientes resultados y discusiones.

4.1. Tipo de adsorbentes

Para el análisis de los tipos de absorbentes que contribuyen en el tratamiento de los derrames de petróleo crudo, se identificaron en base a los 28 artículos trabajos los cuales fueron los siguientes:

Tabla 5. *Tipos de absorbentes en el tratamiento de los derrames de petróleo crudo*

Tipo de absorbente	2012	2013	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Tot al	Porcent aje
Sintético	1	1		1	3		4	1	1	1	13	46%
Orgánico			1		1	2	3		1		8	29%
Nanoabsorbente			1	1			1		1		4	14%
Inorgánico			1					1	1		3	11%
TOTAL											28	100%

La tabla 5 muestra que de los 28 artículos analizados hubo un total de 13 absorbentes sintéticos lo cual representa un 46%, 8 absorbentes orgánicos lo que representa 29%, 4 nanoabsorbentes lo cual representa 14% y 3 absorbentes inorgánicos representando un 11%.

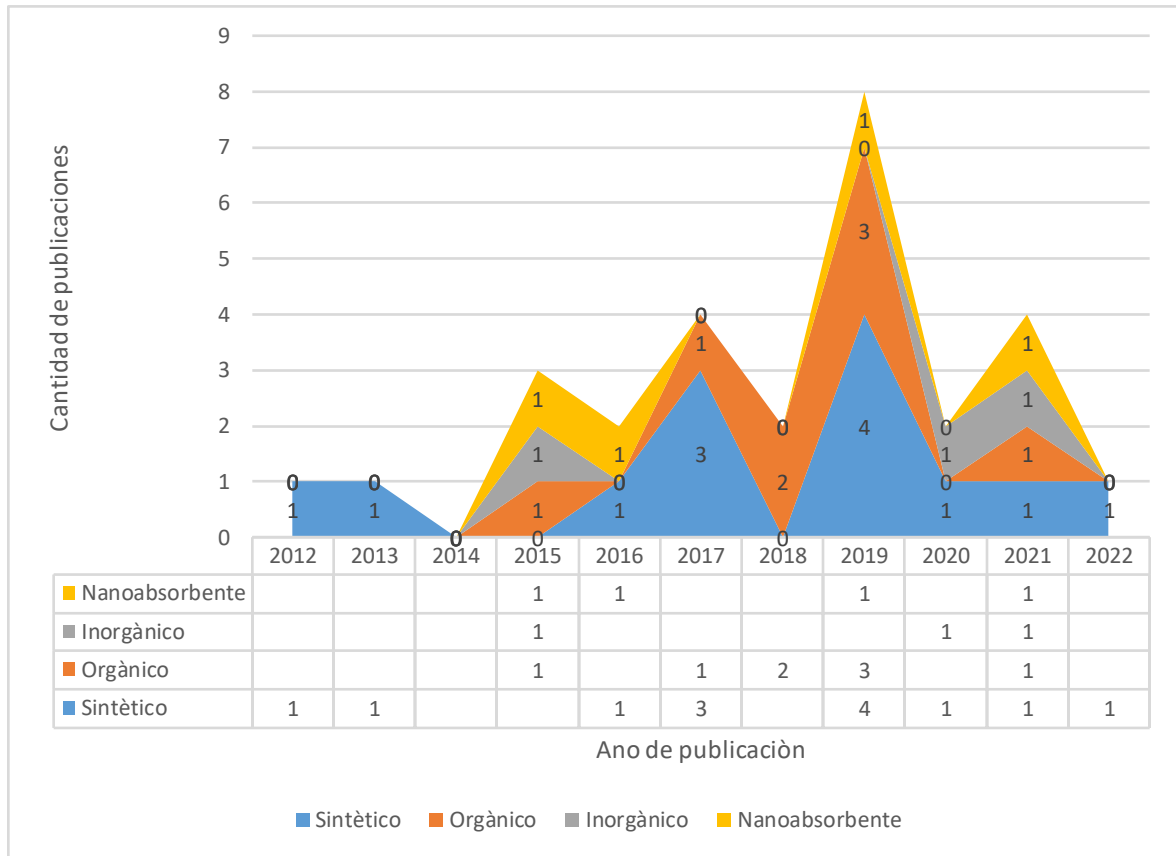


Figura 3. Distribución de uso de tipos de absorbentes

Según muestra la figura 3, los tipos de absorbentes usados en las publicaciones distribuidas a lo largo de los 10 años de evaluación en su mayoría predominó lo sintéticos con un total de 13 publicaciones que estudiaron en base a este absorbente, ya que estas son las más conocidas y efectivos en la limpieza de los derrames seguidos por orgánicos (8 publicaciones) por ser materias de costo baratos y de fácil acceso, lo cual nos evidencia tomando en cuenta que son productos de desecho luego se tiene a las publicaciones nanoabsorbentes ya que estos últimos vienen siendo utilizados recién hace algunos años a partir del 2015 según muestra nuestro gráfico e igualmente viene siendo materia de estudio en los últimos años, finalmente se encontró que los absorbentes inorgánicos fueron usados en menor medida ya que estos tienen desventajas como que son biodegradable no es fácilmente reciclables o reusables.

Tabla 6. *Autores y tipos de absorbentes*

NÚMERO	REFERENCIA	TIPO DE ABSORBENTE
1	(Ngofa et al.)	
2	(Li, Liu y Yang)	
3	(Oribayo et al.)	
4	(Rahmani et al.)	
5	(Hu et al.)	
6	(Tayeb et al.)	
7	(Anwana Abel, Rhoda Habor y Innocent Oseribho 2020)	Sintético
8	(Ferrero et al.)	
9	(Davoodi et al.)	
10	(Ma et al.)	
11	(Omer et al.)	
12	(Ermeng et al.)	
13	(Santos et al.)	
14	(Dawodu, Abonyi y Akpomie)	
15	(Yu et al.)	Inorgánico
16	(Bandura et al)	
17	(Sun et al.)	
18	(Songsaeng, Thamyongkit y Poompradub)	
19	(Liu y Wang)	
20	(Choi)	Orgánico
21	Dong, Xu y Wang	
22	(Abdelwahab, Nasr y Thabet)	
23	(Tang, Zhang y Pu)	
24	(Doshi, Sillanpää y Kalliola)	
25	Nikkhah et al.)	Nano absorbente
26	(Hammouda et al.)	
27	(Talukdar et al.)	

Según muestra la tabla 6 y la figura 3, de los artículos analizados se hubo un total de 13 absorbentes sintéticos lo cual representa un 46%, 8 absorbentes orgánicos lo que representa 29%, 4 nanoabsorbentes lo cual representa 14% y 3 absorbentes inorgánicos representando un 11%, podemos observar varios estudios realizados con los 4 tipos de absorbentes en el tratamiento de derrame de petróleo crudo. Donde los investigadores han coincidido en el empleo de los mismos absorbentes como: (Ngofa et al.,2022); (Ma et al., 2021);(Tayeb et al., 2020);(Anwana Abel et al., 2020);(Hu et al. 2020)(Rahmani et al. 2017)(Oribayo et al. 2017)(Li, Liu y Yang 2012) (Ferrero et al., 2019); (Davoodi et al.,2019); (Omer et al.,2019); (Santos et al.,2017) (Ermeng et al., 2017) los cuales en sus estudios usaron absorbentes sintéticos estos autores coinciden con (Li, Yin y Li 2019) quien menciona que los absorbentes más usados ya que generalmente pueden recoger setenta veces su peso en crudo , pudiendo ser utilizados varias, por otro lado (Dawodu, Abonyi y Akpomie 2021) ;(Yu et al.,2020),(Bandura et al. 2015)usaron absorbentes inorgánicos, (Sun et al., 2021);(Songsaeng, Thamyongkit y Poompradub 2019) (Liu y Wang,2019); (Choi, 2019);(Dong, Xu y Wang 2015) (Doshi et al., 2018); (Tang et al., 2018); (Abdelwahab et al.,2017) los cuales usaron absorbentes orgánicos por ser de fácil acceso, Sin embargo (Talukdar et al., 2019);(Nikkhah et al.,2015); (Hammouda et al., 2021) (Fouad, Aljohani y Shoueir 2016) usaron nanoabsorbentes, los antecedentes coinciden con lo mencionado por (Xiong et al. 2014) quien menciona que los materiales minerales utilizados para la limpieza de derrames de petróleo en forma de gránulos o polvos (p. ej., zeolitas, minerales arcillosos, adsorbentes de sílice) tienen una serie de propiedades que los convierten en adsorbentes apropiados para limpiar eficazmente el petróleo derramado.

4.2. Materiales que componen los absorbentes

Tabla 7. *Composición de los absorbentes en el tratamiento de derrame de petróleo crudo.*

Material	Composición	Referencia	Cantidad	Porcentaje
Polímeros sintéticos	Carbón activado sintetizados con fibras de bambú y banano	(Ngofa et al. 2022)	14	50%
	Espuma de poliuretano a base de lignina modificada con nanotubos de carbono (CNT)	(Ma et al. 2021)		
	Material sorbente RP 18 sintetizado con paja de arroz	(Tayeb et al. 2020)		
	hidróxido de potasio (KOH) preparado a partir de carbón activado de fibra de coco	(Anwana Abel, Rhoda Habor y Innocent Oseribho 2020)		
	Microfibras recubiertas de óxido de grafeno reducido	(Ferrero et al. 2019)		
	Dolomita modificada con ácido palmítico	(Davoodi et al. 2019)		
	Copolímero injertado de nonanilquitosano-poli (acrilato de butilo)	(Omer et al. 2019)		
	Paja de trigo acetilada	(Ermeng et al. 2017)		

	Lignina sintetizada con espuma de poliuretano	(Santos et al. 201)		
	Criogeles altamente porosos de caucho de grafito/isobutileno-isopreno	(Hu et al. 2013)		
	espumas de poliuretano (PU)	(Li, Liu y Yang 2012)		
	poliuretano/óxido de grafeno a base de lignina	(Oribayo et al. 2017)		
	Esponja de poliuretano recubierta de óxido de grafeno y grafeno nanoporoso	(Rahmani et al. 2017)		
	Zeolitas sintéticas de cenizas volantes	(Bandura et al. 2015)		
	Esponja de caucho	(Yu et al. 2020)		
Fibras naturales	Aerogel carbonoso de biomasa de cáscara de pomelo	(Doshi, Sillanpää y Kalliola 2018)	8	29%
	óxido de grafeno reducido (rGO) al látex de caucho natural	(Songsaeng, Thamyongkit y		

		Poompradub 2019b)		
	Celulosa empleando papel de desecho	(Liu y Wang 2019)		
	Base biológica	(Doshi, Sillanpää y Kalliola 2018)		
	Paja de trigo cruda modificada con ácido palmítico	(Tang, Zhang y Pu 2018)		
	Fibras de palma (PF)	(Abdelwahab, Nasr y Thabet 2017)		
	Fibras de totora	(Dong, Xu y Wang 2015)		
Nano partículas	Nanocristales de celulosa	(Hammouda et al. 2021)	3	11%
	nanoláminas de C ₃ N ₄ grafíticas	(Talukdar et al. 2019)		
	Nanopartículas de poli (alcohol vinílico)	(Fouad, Aljohani y Shoueir 2016)		
Fuente agrícola	Biocarbón de cáscara de plátano y feldespato	(Dawodu y Akpomie 2021)	2	7%
	Mazorca de maíz	(Choi 2019)		
Arcilla	Espuma de poliuretano modificado nanoarcilla	(Nikkhah et al. 2015b)	1	4%

Como muestra la tabla 7, el componente de los absorbentes depende del tipo de absorbentes que se utiliza, en este trabajo se muestra una variedad en la composición de los absorbentes. Todos los estudios sistematizados en los antecedentes especifican los distintos materiales de composición.

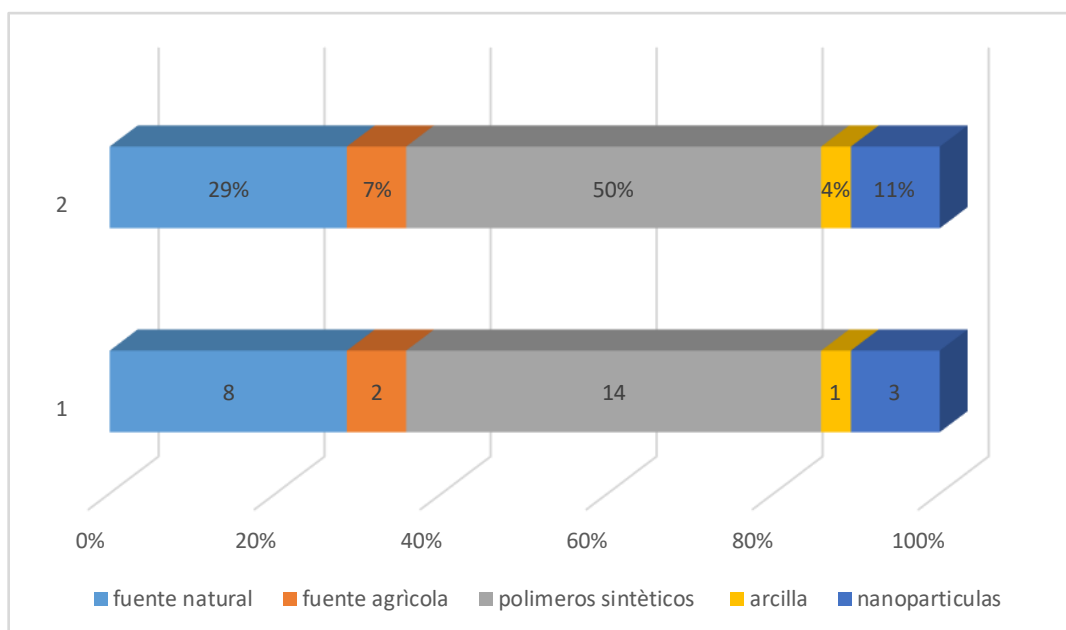


Figura 4. Distribución de los materiales de composición

Según muestra la figura 4, el componente principal de uso fueron los polímeros, seguidos de las fuentes naturales, y finalmente el de menor uso fue la arcilla estos resultados encontrados indican que dependen mucho del escenario de estudio y sobre todo la materia prima con la que se trabaja, en caso de los componentes de absorbentes sintéticos se debe a la facilidad de obtención y base de efectos de la absorción de petróleo, del mismo modo el uso de fuentes naturales se define por la gran variedad de productos que vinieron demostrando sus capacidades en el tratamiento de derrame de petróleo crudo además por ser de origen orgánico abundan y son de fácil obtención. el ultimo componente de menor uso en las publicaciones fueron las arcillas, ya que estas para su uso son necesarias pasar por modificaciones (intercalación – pilarización) para mejorar sus propiedades en la absorción.

Estas revisiones mostraron que (Hammouda et al. 2021),(Talukdar et al. 2019) (Fouad, Aljohani y Shoueir 2016) coincidieron usando compuestos de nano absorbentes entre Nanocristales de celulosa y nanoláminas de C_3N_4 gráficas, ya

que influye en la reducción efectiva del contenido de petróleo del agua, reutilización de adsorbentes y recuperación de petróleo, mientras que (Nikkhah et al. 2015) uso compuestos a partir de arcillas las cuales debido al fortalecimiento de la estructura y la apertura de la celda media, (Ngofa et al. 2022) (Ma et al., 2021);(Tayeb et al., 2020), (Anwana Abel, Rhoda Habor y Innocent Oseribho 2020),(Ferrero et al. 2019),(Davoodi et al. 2019),(Omer et al.,2019),(Ermeng et al., 2017),(Santos et al.,2017), (Hu et al. 2013),(Li, Liu y Yang 2012), (Oribayo et al. 2017), (Rahmani et al. 2017), (Bandura et al. 2015) usaron fuentes a base de polímeros sintéticos se aumenta la capacidad de adsorción asimismo por su parte (Dawodu, Abonyi y Akpomie 2021), (Choi 2019) se basaron en fuentes a partir de base agrícola como mazorca de maíz y biocarbón de cascara de plátano y feldespató, (Yu et al.,2020) (Songsaeng et al., 2019) (Doshi et al., 2018) (Sun et al., 2021);(Liu y Wang,2019);(Tang et al., 2018); (Abdelwahab et al.,2017) (Xiong et al. 2014) (Dong, Xu y Wang 2015) usaron adsorbentes en base a fuentes naturales las cuales su elección coincide con lo mencionado por (Anwana Abel, Rhoda Habor y Innocent Oseribho 2020) ya que la adsorción derivada de los desechos agrícolas porque no es tóxico y no daña el medio ambiente adicionalmente son fácilmente de disponer y es rentable.

4.3. Condiciones operativas

Tabla 8. *Condiciones operativas*

Referencia	Condiciones operativas								
	Capacidad de absorción (g/g)	Numero de ciclos de reuso	Ángulo de contacto (°)	Elasticidad a la compresión	Absorción(%)	Entalpía (kJ/mol.k)	Entalpia (kJ/mol.k)	Capacidad de sorción(%)	Tiempo de sorción(min)
(Ngofa et al. 2022)	3								
(Hammouda et al. 2021)	100-200 Referencia (150)	>10							
(Ma et al. 2021)	6,34				97				
(Dawodu, Abonyi y Akpomie 2021)									
(Sun et al. 2021)	5,8	30							
(Tayeb et al. 2020)	6,67				94.7				
(Yu et al. 2020)	15		151	38,6					
(Anwana Abel, Rhoda Habor y Innocent Oseribho 2020)	49					0,517	134		
(Ferrero et al. 2019)	6,78				97,90				

(Davoodi et al. 2019)	64								
(Talukdar et al. 2019)			90						
(Omer et al. 2019)	108,7								
(Songsaeng, Thamyongkit y Poompradub 2019)	12	30			70				
(Liu y Wang 2019)		8	125,6						
(Choi 2019)	7,80								
(Doshi, Sillanpää y Kalliola 2018)	65	6							
(Tang, Zhang y Pu 2018)	24,31								
(Ermeng et al. 2017)									
(Santos et al. 2017b)	28,9		119						
(Abdelwahab, Nasr y Thabet 2017)									1-120
(Nikkhah et al. 2015)								16	
(Dong, Xu y Wang 2015)	11-14 Referencia (13)							90	30
(Hu et al. 2013)	17,8	30							
(Li, Liu y Yang 2012)	50-60								

	Referencia(55)								
(Oribayo et al. 2017)		20	152					26 a 68 veces su propio peso	
(Rahmani et al. 2017)	70	10							
(Bandura et al. 2015)	12-15 Referencia (14)								24 horas
(Fouad, Aljohani y Shoueir 2016)			105						20

Las condiciones operativas mostradas y analizadas en la tabla 8, son muy variadas de acuerdo a cada artículo entre ellos se tiene temperatura de activación (C°), Área superficial (m²/g), capacidad de absorción (g/g), numero de ciclos de reusó, Angulo de contacto (°), elasticidad a la compresión(kPa), absorción (%), entropía (kj/mol.k) entalpia (kj/mol.k), capacidad de sorción(%), tiempo de sorción(min).

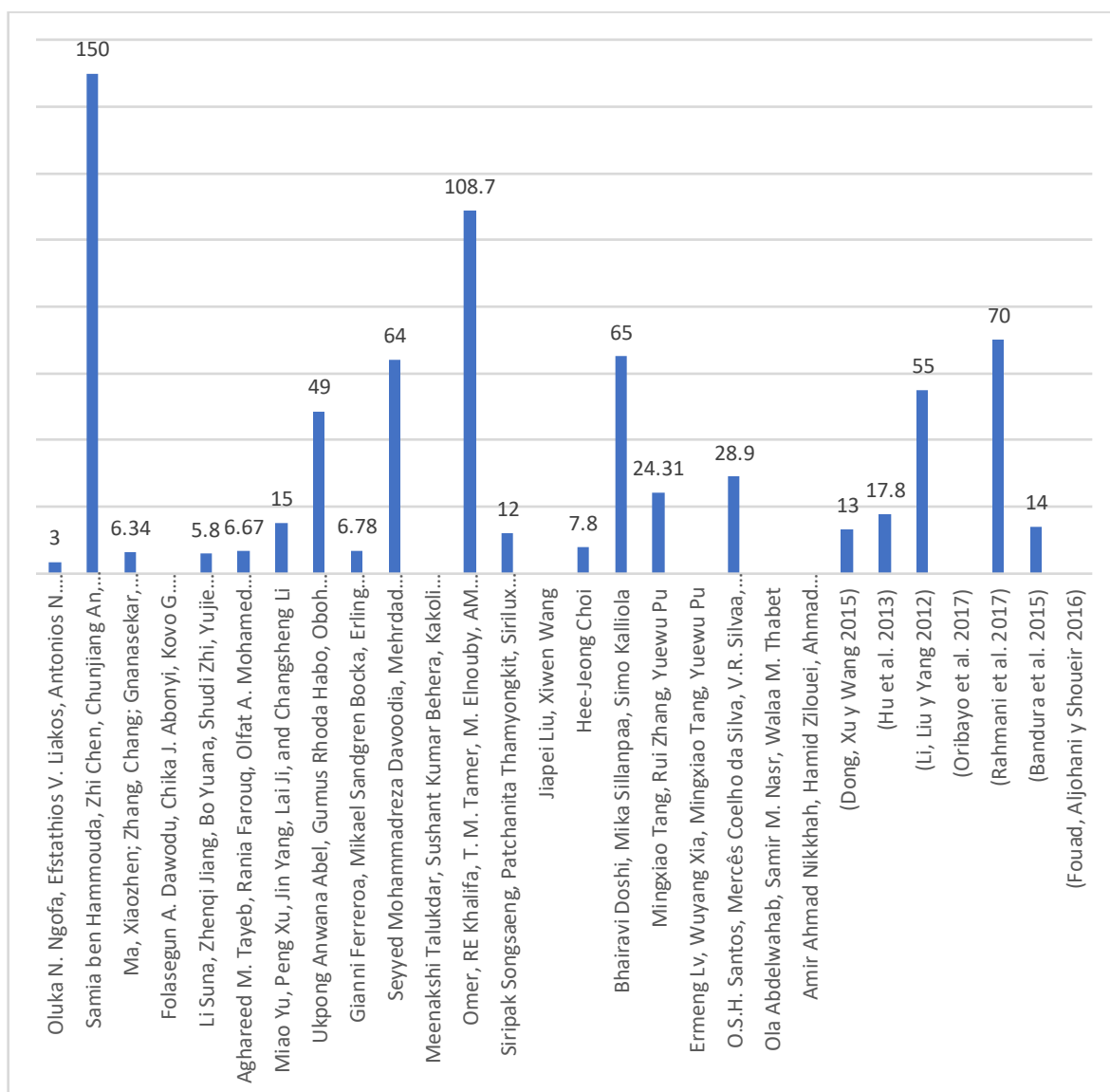


Figura 5. Capacidad de absorción según los artículos

Según muestra la figura 5, donde casi todos los autores mencionan la capacidad de absorción es muy variada, ya que dichos resultados son producto de la

interacción de las algunas condiciones operativas en conjunto y sobre todo el uso de los tipos de absorbentes en sus publicaciones de este modo los absorbentes sintéticos tiene una capacidad de absorción alta, mientras tanto los artículos que usan absorbentes inorgánicos tienden a presenta una absorción baja.

(Ngofa et al. 2022), (Ma et al., 2021)(Dawodu, Abonyi y Akpomie 2021)(Ferrero et al. 2019)(Davoodi et al. 2019)(Omer et al. 2021)(Ermeng et al. 2017) estudiaron en base a temperatura de activación que fueron desde los 25°C -300°C,(Ngofa et al. 2022)(Hammouda et al. 2021) estudiaron en base de área superficial de 2760,4 m²/g y 100 m²/g,(Hammouda et al. 2021)(Sun et al. 2021)(Oribayo et al. 2017)(Rahmani et al. 2017) (Hu et al. 2013) trabajaron en base a ciclo de reusó los cuales fueron >10,20 y 30 ,(Yu et al. 2020)(Talukdar et al. 2019)(Liu y Wang 2019)(Santos et al. 2017) (Fouad, Aljohani y Shoueir 2016), (Oribayo et al. 2017) estudiaron en base al Angulo de contacto los cuales fueron 151°; 90°;125,6° y 119°,105°y 152^a (Yu et al. 2020) estudiaron la elasticidad a la comprensión de 38,6 kPa, el porcentaje de absorción fue estudiado por (Ma et al. 2021) (Tayeb et al. 2020) (Ferrero et al. 2019) los cuales encontraron resultados de 97%,94% y 97,9%,(Anwana , Rhoda y Oseribho 2020) estudiaron en base a entropía y entalpia las cuales tuvieron un valor de 0,517 kJ/mol.k, 134 kJ/mol.k,(Abdelwahab, Nasr y Thabet 2017) (Dong, Xu y Wang 2015) (Bandura et al. 2015) (Fouad, Aljohani y Shoueir 2016) trabajo en base a un tiempo de sorción de 1 min a 120 min, 20 min ,30 min y finalmente uno de 24 horas y (Nikkhah et al. 2015) encontró una capacidad de sorción de 16% mientras tanto (Oribayo et al. 2017) menciona que su resultado fue de 26 a 68 veces su propio peso en casi todo los artículos estudiaron la capacidad de absorción punto en común de los autores los cuales tuvieron resultados variados debido a las condiciones a las que fueron expuestas y las propiedades de cada componente.

En todo el trabajo de revisión de los 28 artículos se evidencio que los tratamientos usados para el derrame de petróleo en crudo el método más usado es de adsorción por ser un proceso prometedor a través de revisión de las distintas investigaciones y la factibilidad como lo menciona (Teas et al. 2001) utilizando los tipos de absorbentes más conocidos y efectivos, sintético, orgánico, inorgánica, nanoabsorbente pero para la eficiencia depende de la capacidad de sorción, la

densidad, la humectabilidad, la tasa de retención y la reciclabilidad y distintas condiciones operativas como lo menciona (Idris et al. 2014)

V. CONCLUSIONES

1. Se identificó 4 tipos de adsorbentes: sintéticos, orgánicos, inorgánicos, y nanoabsorbente, se evidenció que los más usados fueron los sintéticos con un 46%, seguidos de orgánicos con 29%, inorgánicos 11% y finalmente los nanoabsorbentes con 14% estos adsorbentes son fundamentales en la absorción de petróleo depende cada uno de ellos y la composición de materia prima en la eficiencia de las investigaciones, estos resultados reflejan que hoy en día vienen siendo más usados los adsorbentes sintéticos ya que son los más reconocidos por su eficiencia y su fácil acceso.
2. Se identificó que los materiales que componen los adsorbentes depende del tipo de adsorbente que se use y las materias primas a partir de la cual se trabaje entre ellas se tiene: fibras naturales, fuentes agrícolas, polímeros sintéticos, arcillas y nano partículas, encontrando que los más usados son polímeros sintéticos con un 50% de uso, seguidos de fuente natural 29%, Nano partículas 11%, fuente agrícola 7% y arcilla 4%, estos resultados reflejaron que los polímeros sintéticos son los más estudiados por su eficiencia.
3. Las condiciones operativas son diversas de acuerdo al escenario de aplicación de los adsorbentes, pero coinciden en algunos criterios como: capacidad de adsorción, Angulo de contacto, capacidad de retención y derivados, las cuales tienen un rol muy importante ya que a partir de ello se establece la capacidad de absorción y el porcentaje de absorción de los artículos analizados.
4. Se concluye que el derrame de petróleo contamina el entorno y la zona afectada y ante ello una de las estrategias más usadas en su tratamiento es la absorción con el empleo de diversos tipos de adsorbentes ya que es una buena y factible alternativa que se adapta a cualquier escenario geográfico con el fin de mitigar el impacto ambiental generados y por derrame.

VI. RECOMENDACIONES

1. Mediante el desarrollo de la investigación se encontró que falta mayor investigación con respecto al uso de otros absorbentes diferentes a los sintéticos y orgánicos; como son los nanoadsorbentes con nanocristales de celulosa o nanoláminas de C_3N_4 grafiticas en escenario de nuestro país estos estudios serian importantes para determinar los impactos ambientales que se podrían generar.
2. Se sugiere ampliar las investigaciones respecto las propiedades físicas (color, forma, tamaño, densidad, etc.) y la composición química de cada tipo de absorbente usados en el tratamiento de derrame de petróleo crudo, de modo de estudiar estas capacidades y su influencia en la absorción de petróleo crudo.
3. Existe un gran potencial en los adsorbentes naturales que han retenido el petróleo, como fuente potencial de energía, se sugiere llevar a cabo estudios de evaluación de la capacidad de absorbancia de los materiales que componen los adsorbentes frente a los derrames de petróleo para la reducción de los impactos ambientales.

REFERENCIAS

- ABASS O, A., JAMEEL, A.T., MUYUBI, S.A., ABDUL KARIM, M.I. y ALAM, A.M.Z., 1970. Removal of Oil and Grease as Emerging Pollutants of Concern (EPC) in Wastewater Stream. *IJUM Engineering Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 161-169. ISSN 1511-788X. DOI 10.31436/iiumej.v12i4.218.
- ABDELWAHAB, O., NASR, S.M. y THABET, W.M., 2017. Palm fibers and modified palm fibers adsorbents for different oils. *Alexandria Engineering Journal* [en línea], vol. 56, no. 4, pp. 749-755. ISSN 11100168. DOI 10.1016/j.aej.2016.11.020. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2016.11.020>.
- ABDULLAH, M.A., RAHMAH, A.U. y MAN, Z., 2010. Physicochemical and sorption characteristics of Malaysian *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. as a natural oil sorbent. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 177, no. 1-3, pp. 683-691. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2009.12.085. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.085>.
- AL-JAMMAL, N., YUZHAKOVA, T., DOMOKOS, E. y RÉDEY, Á., 2016. Review of The Effectiveness of Absorbent Materials in Oil. , no. October 2016.
- AL-MAJED, A.A., ADEBAYO, A.R. y HOSSAIN, M.E., 2012. A sustainable approach to controlling oil spills. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 113, pp. 213-227. ISSN 03014797. DOI 10.1016/j.jenvman.2012.07.034. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.034>.
- AL ZUBAIDI, I.A.H., AL TAMIMI, A.K. y AHMED, H., 2016. Remediation of water from crude oil spill using a fibrous sorbent. *Environmental Technology and Innovation* [en línea], vol. 6, pp. 105-114. ISSN 23521864. DOI 10.1016/j.eti.2016.08.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2016.08.002>.
- ALFONSO, R., 2021. buques y su gestión en el Perú Analysis of oil spills from ships and their management in Perú. , vol. 24, pp. 143-151.
- ANNUNCIADO, T.R., SYDENSTRICKER, T.H.D. y AMICO, S.C., 2005. Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for

- oil spills. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 50, no. 11, pp. 1340-1346. ISSN 0025326X. DOI 10.1016/j.marpolbul.2005.04.043.
- ANWANA ABEL, U., RHODA HAVOR, G. y INNOCENT OSERIBHO, O., 2020. Adsorption Studies of Oil Spill Clean-up Using Coconut Coir Activated Carbon (CCAC). *American Journal of Chemical Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 36. ISSN 2330-8605. DOI 10.11648/j.ajche.20200802.11.
- BANDURA, L., FRANUS, M., JÓZEFACIUK, G. y FRANUS, W., 2015. Synthetic zeolites from fly ash as effective mineral sorbents for land-based petroleum spills cleanup. *Fuel* [en línea], vol. 147, pp. 100-107. ISSN 00162361. DOI 10.1016/j.fuel.2015.01.067. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.01.067>.
- CABO, A., 2015. *Master en Ingeniería Náutica y Gestión Marítima Master en Ingeniería Náutica y Gestión Marítima*. S.I.: Universidad de Cantabria.
- CARRILLO, P.M., LEYVA-MORAL, J.M. y MEDINA, M.J.L., 2011. El análisis de los datos cualitativos: un proceso complejo. *Index de Enfermería* [en línea], vol. 20, no. 1-2, pp. 96-100. DOI 10.4321/S1132-12962011000100020. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962011000100020.
- CASTILLO, E. y VÁSQUEZ, M.L., 2003. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Colombia Médica*, 2003, [en línea], vol. Vol. 34, n, no. ISSN: 0120-8322, pp. 164-167. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11592/7268>.
- CASTILLO, L., 2004. Análisis documental. *Análisis documental* [en línea], vol. 5, pp. 1-18. Disponible en: <https://www.uv.es/macass/T5.pdf>.
- CHAU, M.Q., TRUONG, T.T., HOANG, A.T. y LE, T.H., 2021. Oil spill cleanup by raw cellulose-based absorbents: a green and sustainable approach. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* [en línea], vol. 00, no. 00, pp. 1-14. ISSN 15567230. DOI 10.1080/15567036.2021.1928798. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1928798>.
- CHOI, H.J., 2019. Agricultural bio-waste for adsorptive removal of crude oil in aqueous solution. *Journal of Material Cycles and Waste Management* [en

línea], vol. 21, no. 2, pp. 356-364. ISSN 16118227. DOI 10.1007/s10163-018-0797-3. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-018-0797-3>.

DAMANABI, A.T. y BAHADORI, F., 2016. Oil spill cleanup by atmospheric distillation. *Petroleum Science and Technology*, vol. 34, no. 8, pp. 719-725. ISSN 15322459. DOI 10.1080/10916466.2016.1163395.

DAVOODI, S.M., TAHERAN, M., BRAR, S.K., GALVEZ-CLOUTIER, R. y MARTEL, R., 2019. Hydrophobic dolomite sorbent for oil spill clean-ups: Kinetic modeling and isotherm study. *Fuel* [en línea], vol. 251, no. April, pp. 57-72. ISSN 00162361. DOI 10.1016/j.fuel.2019.04.033. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.033>.

DAWODU, F.A., ABONYI, C.J. y AKPOMIE, K.G., 2021. Feldspar-banana peel composite adsorbent for efficient crude oil removal from solution. *Applied Water Science* [en línea], vol. 11, no. 1, pp. 1-10. ISSN 2190-5487. DOI 10.1007/s13201-020-01335-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01335-8>.

DIRAKI, A., MACKEY, H.R., MCKAY, G. y ABDALA, A., 2019. Removal of emulsified and dissolved diesel oil from high salinity wastewater by adsorption onto graphene oxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], vol. 7, no. 3, pp. 103106. ISSN 22133437. DOI 10.1016/j.jece.2019.103106. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103106>.

DONG, T., XU, G. y WANG, F., 2015. Oil spill cleanup by structured natural sorbents made from cattail fibers. *Industrial Crops and Products* [en línea], vol. 76, pp. 25-33. ISSN 09266690. DOI 10.1016/j.indcrop.2015.06.034. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.034>.

DONG, X., CHEN, J., MA, Y., WANG, J., CHAN-PARK, M.B., LIU, X., WANG, L., HUANG, W. y CHEN, P., 2012. Superhydrophobic and superoleophilic hybrid foam of graphene and carbon nanotube for selective removal of oils or organic solvents from the surface of water. *Chemical Communications*, vol. 48, no. 86, pp. 10660-10662. ISSN 1364548X. DOI 10.1039/c2cc35844a.

- DOSHI, B., SILLANPÄÄ, M. y KALLIOLA, S., 2018. A review of bio-based materials for oil spill treatment. *Water Research*, vol. 135, pp. 262-277. ISSN 18792448. DOI 10.1016/j.watres.2018.02.034.
- ERMENG, L., WUYANG, X., MINGXIAO, T. y YUEWU, P., 2017. Preparation of an Efficient Oil-Spill Adsorbent Based on Wheat Straw. *BioResources*, vol. 12, no. 1, pp. 296-315.
- EZE, S.I., AKPOMIE, K.G., EZEFOR, C.C., MMADUBUIKE, N. V. y OJO, F.K., 2019. Remediation of oil spill polluted water from Niger Delta Nigeria by sorption onto ammonium sulfate modified *Dialium guineense* seed husk. *Petroleum Science and Technology* [en línea], vol. 37, no. 15, pp. 1-9. ISSN 15322459. DOI 10.1080/10916466.2019.1608240. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10916466.2019.1608240>.
- FERRERO, G., SANDGREN BOCK, M., STENBY, E.H., HOU, C. y ZHANG, J., 2019. Reduced graphene oxide-coated microfibers for oil-water separation. *Environmental Science: Nano*, vol. 6, no. 11, pp. 3215-3224. ISSN 20518161. DOI 10.1039/c9en00549h.
- FOUAD, R.R., ALJOHANI, H.A. y SHOUEIR, K.R., 2016. Biocompatible poly(vinyl alcohol) nanoparticle-based binary blends for oil spill control. *Marine Pollution Bulletin* [en línea], vol. 112, no. 1-2, pp. 46-52. ISSN 18793363. DOI 10.1016/j.marpolbul.2016.08.046. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.046>.
- GALIERIKOVÁ, A. y MATERNA, M., 2020. World Seaborne Trade with Oil: One of Main Cause for Oil Spills? *Transportation Research Procedia* [en línea], vol. 44, no. 2019, pp. 297-304. ISSN 23521465. DOI 10.1016/j.trpro.2020.02.039. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.039>.
- GE, J., YE, Y.D., YAO, H. Bin, ZHU, X., WANG, X., WU, L., WANG, J.L., DING, H., YONG, N., HE, L.H. y YU, S.H., 2014. Pumping through porous hydrophobic/oleophilic materials: An alternative technology for oil spill remediation. *Angewandte Chemie - International Edition*, vol. 53, no. 14, pp. 3612-3616. ISSN 15213773. DOI 10.1002/anie.201310151.

- GU, J., XIAO, P., CHEN, J., ZHANG, J., HUANG, Y. y CHEN, T., 2014. Janus polymer/carbon nanotube hybrid membranes for oil/water separation. *ACS Applied Materials and Interfaces*, vol. 6, no. 18, pp. 16204-16209. ISSN 19448252. DOI 10.1021/am504326m.
- HAMMOUDA, S. ben, CHEN, Z., AN, C. y LEE, K., 2021. Recent advances in developing cellulosic sorbent materials for oil spill cleanup: A state-of-the-art review. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 311, no. August 2020, pp. 127630. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.127630. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127630>.
- HERNANDEZ, R.S., FERNANDEZ, C.C. y BAPTISTA, P.L., 2014. *Metodología de la investigación*. S.l.: s.n. ISBN 9781456223960.
- HERNÁNDEZ, S.L.M. y AVILA, D.D., 2020. Técnicas e instrumentos de recolección de datos Data collection techniques and instruments. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, vol. 9, no. 17, pp. 51-53.
- HOANG, A.T., BUI, X.L. y PHAM, X.D., 2018. A novel investigation of oil and heavy metal adsorption capacity from as-fabricated adsorbent based on agricultural by-product and porous polymer. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* [en línea], vol. 40, no. 8, pp. 929-939. ISSN 15567230. DOI 10.1080/15567036.2018.1466008. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1466008>.
- HU, G., MOHAMMADIUN, S., GHARAHBAGH, A.A., LI, J., HEWAGE, K. y SADIQ, R., 2020. Selection of oil spill response method in Arctic offshore waters: A fuzzy decision tree based framework. *Marine Pollution Bulletin* [en línea], vol. 161, no. October, pp. 111705. ISSN 18793363. DOI 10.1016/j.marpolbul.2020.111705. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111705>.
- HU, Y., LIU, X., ZOU, J., GU, T., CHAI, W. y LI, H., 2013. Graphite/isobutylene-isoprene rubber highly porous cryogels as new sorbents for oil spills and organic liquids. *ACS Applied Materials and Interfaces*, vol. 5, no. 16, pp. 7737-7742. ISSN 19448244. DOI 10.1021/am303294m.

- IDRIS, J., EYU, G.D., MANSOR, A.M., AHMAD, Z. y CHUKWUEKEZIE, C.S., 2014. A preliminary study of biodegradable waste as sorbent material for oil-spill cleanup. *The Scientific World Journal*, vol. 2014. ISSN 1537744X. DOI 10.1155/2014/638687.
- INDECI, 2022. Derrame De Hidrocarburos en el Distrito De Ventanilla - Callao. . S.I.:
- IVSHINA, I.B., KUYUKINA, M.S., KRIVORUCHKO, A. V., ELKIN, A.A., MAKAROV, S.O., CUNNINGHAM, C.J., PESHKUR, T.A., ATLAS, R.M. y PHILP, J.C., 2015. Oil spill problems and sustainable response strategies through new technologies. *Environmental Science: Processes and Impacts* [en línea], vol. 17, no. 7, pp. 1201-1219. ISSN 20507895. DOI 10.1039/c5em00070j. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1039/C5EM00070J>.
- KONG, L.H., CHEN, X.H., YU, L.G., WU, Z.S. y ZHANG, P.Y., 2015. Superhydrophobic cuprous oxide nanostructures on phosphor-copper meshes and their oil-water separation and oil spill cleanup. *ACS Applied Materials and Interfaces*, vol. 7, no. 4, pp. 2616-2625. ISSN 19448252. DOI 10.1021/am507620s.
- LI, H., LIU, L. y YANG, F., 2012. Hydrophobic modification of polyurethane foam for oil spill cleanup. *Marine Pollution Bulletin* [en línea], vol. 64, no. 8, pp. 1648-1653. ISSN 0025326X. DOI 10.1016/j.marpolbul.2012.05.039. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.039>.
- LI, M., YIN, X. y LI, J., 2019. Robust superhydrophobic/superoleophilic sponge for efficient removal of oils from corrosive aqueous solutions. *Journal of Adhesion Science and Technology* [en línea], vol. 33, no. 13, pp. 1426-1437. ISSN 15685616. DOI 10.1080/01694243.2019.1599573. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01694243.2019.1599573>.
- LIM, T.T. y HUANG, X., 2007. Evaluation of hydrophobicity/oleophilicity of kapok and its performance in oily water filtration: Comparison of raw and solvent-treated fibers. *Industrial Crops and Products*, vol. 26, no. 2, pp. 125-134. ISSN 09266690. DOI 10.1016/j.indcrop.2007.02.007.

- LIU, J. y WANG, X., 2019. A new method to prepare oil adsorbent utilizing waste paper and its application for Oil Spill Clean-ups. *BioResources*, vol. 14, no. 2, pp. 3886-3898. ISSN 19302126. DOI 10.15376/biores.14.2.3886-3898.
- MA, X., ZHANG, C., GNANASEKAR, P., XIAO, P., LUO, Q., LI, S., QIN, D., CHEN, T., CHEN, J., ZHU, J. y YAN, N., 2021. Mechanically robust, solar-driven, and degradable lignin-based polyurethane adsorbent for efficient crude oil spill remediation. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 415, no. January. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2021.128956. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.128956>.
- MENDOZA, D., PAREDES, C., QUINTO, P., SALAS, A. y VASQUEZ, D., 2021. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN PARA LA FISCALIZACIÓN AMBIENTAL Valoración Económica de los beneficios sociales del Río Corrientes , ante aledañas a la plataforma Valencia , Loreto , 2021 Tabla de contenido. , pp. 47.
- NAM, C., ZHANG, G. y CHUNG, T.C.M., 2018. Polyolefin-based interpenetrating polymer network absorbent for crude oil entrapment and recovery in aqueous system. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 351, pp. 285-292. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2018.03.004. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.03.004>.
- NGOFA, O.N., LIAKOS, E. V., PAPADOPOULOS, A.N. y KYZAS, G.Z., 2022. Activated carbon from bamboo and banana wood fibers as adsorbent materials for the removal of oil samples. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, vol. 12, no. 2, pp. 2701-2714. ISSN 20695837. DOI 10.33263/BRIAC122.27012714.
- NIKKHAH, A.A., ZILOUEI, H., ASADINEZHAD, A. y KESHAVARZ, A., 2015. Removal of oil from water using polyurethane foam modified with nanoclay. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 262, pp. 278-285. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2014.09.077. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.077>.
- OMER, A.M., KHALIFA, R.E., TAMER, T.M., ELNOUBY, M., HAMED, A.M., AMMAR, Y.A., ALI, A.A., GOUDA, M. y ELDIN, M.S.M., 2019. Fabrication of a

novel low-cost superoleophilic nonanyl chitosan-poly (butyl acrylate) grafted copolymer for the adsorptive removal of crude oil spills. *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], vol. 140, pp. 588-599. ISSN 18790003. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2019.08.169. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.169>.

ORIBAYO, O., FENG, X., REMPEL, G.L. y PAN, Q., 2017. Synthesis of lignin-based polyurethane/graphene oxide foam and its application as an absorbent for oil spill clean-ups and recovery. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 323, pp. 191-202. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2017.04.054. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.04.054>.

PEÑA, T. y PIRELLA, J., 2007. La complejidad del análisis documental Información, cultura y sociedad: revista del Instituto de Investigaciones. *Información, cultura y sociedad* [en línea], no. 16, pp. 55-81. ISSN 1514-8327. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2630/263019682004.pdf>.

PRABOWO, A.R. y BAE, D.M., 2019. Environmental risk of maritime territory subjected to accidental phenomena: Correlation of oil spill and ship grounding in the Exxon Valdez's case. *Results in Engineering* [en línea], vol. 4, pp. 100035. ISSN 25901230. DOI 10.1016/j.rineng.2019.100035. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100035>.

RAHMANI, Z., SAMADI, M.T., KAZEMI, A., RASHIDI, A.M. y RAHMANI, A.R., 2017. Nanoporous graphene and graphene oxide-coated polyurethane sponge as a highly efficient, superhydrophobic, and reusable oil spill absorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], vol. 5, no. 5, pp. 5025-5032. ISSN 22133437. DOI 10.1016/j.jece.2017.09.028. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.028>.

RIAZ, M.A., MCKAY, G. y SALEEM, J., 2017. 3D graphene-based nanostructured materials as sorbents for cleaning oil spills and for the removal of dyes and miscellaneous pollutants present in water. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 36, pp. 27731-27745. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-017-0606-x.

SALGADO, A.L., 2007. Investigación Cualitativa: Evaluación del rigor metodológico

y retos. *Liberabit*, vol. 13, no. 1729-4827, pp. 71-78. ISSN 1729-4827.

SANTOS, O.S.H., COELHO DA SILVA, M., SILVA, V.R., MUSSEL, W.N. y YOSHIDA, M.I., 2017b. Polyurethane foam impregnated with lignin as a filler for the removal of crude oil from contaminated water. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 324, pp. 406-413. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2016.11.004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.004>.

SARDI, S.S., QURBAN, M.A., LI, W., KADINJAPPALLI, K.P., MANIKANDAN, P.K., HARIRI, M.M., TAWABINI, B.S., KHALIL, A.B. y EL-ASKARY, H., 2020. Assessment of areas environmentally sensitive to oil spills in the western Arabian Gulf, Saudi Arabia, for planning and undertaking an effective response. *Marine Pollution Bulletin* [en línea], vol. 150, no. May, pp. 110588. ISSN 18793363. DOI 10.1016/j.marpolbul.2019.110588. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110588>.

SKOVSMOSE, O., 1998. Escenarios de investigación. ,

SOARES, M. de O., TEIXEIRA, C.E.P., BEZERRA, L.E.A., PAIVA, S.V., TAVARES, T.C.L., GARCIA, T.M., DE ARAÚJO, J.T., CAMPOS, C.C., FERREIRA, S.M.C., MATTHEWS-CASCON, H., FROTA, A., MONT'ALVERNE, T.C.F., SILVA, S.T., RABELO, E.F., BARROSO, C.X., FREITAS, J.E.P. de, MELO JÚNIOR, M. de, CAMPELO, R.P. de S., SANTANA, C.S. de, CARNEIRO, P.B. de M., MEIRELLES, A.J., SANTOS, B.A., OLIVEIRA, A.H.B. de, HORTA, P. y CAVALCANTE, R.M., 2020. Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. *Marine Policy*, vol. 115, no. November 2019. ISSN 0308597X. DOI 10.1016/j.marpol.2020.103879.


SONGSAENG, S., THAMYONGKIT, P. y POOMPRADUB, S., 2019. Natural rubber/reduced-graphene oxide composite materials: Morphological and oil adsorption properties for treatment of oil spills. *Journal of Advanced Research* [en línea], vol. 20, pp. 79-89. ISSN 20901232. DOI 10.1016/j.jare.2019.05.007. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.05.007>.

SUN, L., JIANG, Z., YUAN, B., ZHI, S., ZHANG, Y., LI, J. y WU, A., 2021. Ultralight and superhydrophobic perfluorooctyltrimethoxysilane modified biomass

- carbonaceous aerogel for oil-spill remediation. *Chemical Engineering Research and Design* [en línea], vol. 174, pp. 71-78. ISSN 02638762. DOI 10.1016/j.cherd.2021.08.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.08.002>.
- TALUKDAR, M., BEHERA, S.K., BHATTACHARYA, K. y DEB, P., 2019. Surface modified mesoporous g-C₃N₄@FeNi₃ as prompt and proficient magnetic adsorbent for crude oil recovery. *Applied Surface Science*, vol. 473, no. September 2018, pp. 275-281. ISSN 01694332. DOI 10.1016/j.apsusc.2018.12.166.
- TANG, M., ZHANG, R. y PU, Y., 2018. Wheat Straw Modified with Palmitic Acid as an Efficient Oil Spill Adsorbent. *Fibers and Polymers*, vol. 19, no. 5, pp. 949-955. ISSN 12299197. DOI 10.1007/s12221-018-7733-y.
- TAYEB, A.M., FAROUQ, R., MOHAMED, O.A. y TONY, M.A., 2020. Oil spill clean-up using combined sorbents: a comparative investigation and design aspects. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* [en línea], vol. 100, no. 3, pp. 311-323. ISSN 10290397. DOI 10.1080/03067319.2019.1636976. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03067319.2019.1636976>.
- TEAS, C., KALLIGEROS, S., ZANIKOS, F., STOURNAS, S., LOIS, E. y ANASTOPOULOS, G., 2001. Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spills clean up. *Desalination*, vol. 140, no. 3, pp. 259-264. ISSN 00119164. DOI 10.1016/S0011-9164(01)00375-7.
- XIONG, W., BERNESKY, R., BECHARD, R., MICHAUD, G. y LANG, J., 2014. A tiered approach to distinguish sources of gasoline and diesel spills. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 487, no. 1, pp. 452-462. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2014.04.043. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.043>.
- YU, M., XU, P., YANG, J., JI, L. y LI, C., 2020. Self-Growth of MoS₂ Sponge for Highly Efficient Photothermal Cleanup of High-Viscosity Crude Oil Spills. *Advanced Materials Interfaces*, vol. 7, no. 4, pp. 1-10. ISSN 21967350. DOI 10.1002/admi.201901671.

ANEXOS

ANEXO N°1. Instrumento de recolección de datos

	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
Título del artículo científico	
Autor (es)	
Año de publicación del artículo científico	
Participante	
Páginas empleadas	
Palabra clave	
Derrame de petróleo	
Tipos de adsorbente	
Composición de los adsorbentes	
Condiciones operativas del adsorbente	
Conclusión	



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Carbón Activado de Fibras de Madera de Bambú y Plátano como Materiales Adsorbentes para la Remoción de Muestras de Aceite
Autor (es)	Oluka N. Ngofa, Efstathios V. Liakos, Antonios N. Papadopoulos, George Z. Kyzas
Año de publicación del artículo científico	2022
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	bambú; fibra de plátano; Carbón activado; adsorción; derrames de petróleo.
Tipos de adsorbente	Sintético
Composición de los adsorbentes	Carbón activado sintetizados con fibras de bambú y banano
Condiciones operativas del adsorbente	Temperatura de activación 550°C Área superficial 2760,47 m ² /g Capacidad de adsorción de 3,3678 g/g
Conclusión	El carbón activado sintetizado a partir de varias biomásas revisa que la química de la superficie adicional puede generar eficiencias de remediación significativamente más altas ya que se ha obtenido la relación de área superficial con la capacidad de adsorción. Esta investigación proporciona una metodología prometedora para una opción potencial para la respuesta a derrames de petróleo y posiblemente pueda usarse más para la remoción de productos farmacéuticos y metales pesados.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Avances recientes en el desarrollo de materiales adsorbentes celulósicos para la limpieza de derrames de petróleo: Una revisión de vanguardia
Autor (es)	Samia ben Hammouda, Zhi Chen, Chunjiang An, Kenneth Lee
Año de publicación del artículo científico	2021
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Derrame de petróleo, Recuperación de petróleo, Celulosa, Absorbente, Hidrofobicidad, Respuesta a derrames de petróleo
Tipos de adsorbente	Nanoadsorbente
Composición de los adsorbentes	Nanocristales de celulosa
Condiciones operativas del adsorbente	Capacidad de adsorción 100 g/g – 200 g/g Numero de ciclos de reuso >10 Área superficial 100 m ² /g
Conclusión	En términos de uso en la remediación de derrames de petróleo, los adsorbentes a base de celulosa descritos en este documento ofrecen tres beneficios principales: reducción efectiva del contenido de petróleo del agua, reutilización de adsorbentes y recuperación de petróleo.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Adsorbente de poliuretano a base de lignina mecánicamente robusto, impulsado por energía solar y degradable para la remediación eficiente de derrames de petróleo crudo
Autor (es)	Ma, Xiaozhen; Zhang, Chang; Gnanasekar, Pitchaimari; Xiao, Peng; Luo, Qing; Li, Shuqi; Qin, Dongdong; Chen, Tao; Chen, Jing; Zhu, Jin; Yan, Ning
Año de publicación del artículo científico	2021
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Petróleo crudo, Impulsado por energía solar, Lignina, Remediación, Degradabilidad
Tipos de adsorbente	Adsorbente sintético conformado por un polímero
Composición de los adsorbentes	Espuma de poliuretano a base de lignina modificada con nanotubos de carbono (CNT)
Condiciones operativas del adsorbente	Temperatura de su superficie $\geq 90,3$ °C en 500 segundos. Adsorción de $\approx 97\%$ Capacidad de adsorción de $6,34 \pm 0,27$ g/g
Conclusión	Dado el nuevo diseño estructural, el excelente respeto por el medio ambiente, la rápida tasa de adsorción de petróleo y la gran capacidad de adsorción de petróleo, este trabajo proporciona una solución prometedora para abordar los derrames catastróficos de petróleo crudo viscoso en grandes áreas.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Adsorbente compuesto de feldespato y cáscara de plátano para una eliminación eficiente del petróleo crudo de la solución
Autor (es)	Folasegun A. Dawodu, Chika J. Abonyi, Kovo G. Akpomie
Año de publicación del artículo científico	2021
Participante	Science Direct
Palabras clave	Biocarbón, Sorción, Feldespato, Cáscara de plátano, Compuesto, Petróleo crudo
Tipos de adsorbente	Inorgánico-Orgánico
Composición de los adsorbentes	Biocarbón de cáscara de plátano y feldespato
Condiciones operativas del adsorbente	Tiempo de contacto 30 min -150 min Temperatura 25 °C – 100°C Dosis de sorbente 0,1 g – 0,5 g
Conclusión	El nuevo compuesto preparado era eficaz para la sorción de los dos crudos de la solución acuosa y se recomienda en el tratamiento ambiental de las caídas de petróleo.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Aerogel ultraligero y superhidrofóbico de perfluorooctiltrimetoxisilano modificado con biomasa carbonácea para la remediación de derrames de petróleo
Autor (es)	Li Suna, Zhenqi Jiang, Bo Yuana, Shudi Zhi, Yujie Zhanga, JuanLi, Aiguo Wua
Año de publicación del artículo científico	2021
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Aerogel carbonoso de biomasa, Hidrofobicidad, Mesoporos, Remediación de derrames de petróleo, Absorber y eliminar
Tipos de adsorbente	Orgánico
Composición de los adsorbentes	Aerogel carbonoso de biomasa de cáscara de pomelo
Condiciones operativas del adsorbente	Capacidad máxima de adsorción 5,8 g/g 30 ciclos de regeneración Estructura escalonada cruzada en 3D
Conclusión	Los resultados sugieren un material fácil y eficiente que podría tener aplicaciones prácticas en la limpieza de derrames de petróleo y la eliminación de contaminantes orgánicos en la superficie del agua.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Limpieza de derrames de petróleo usando adsorbentes combinados: una investigación comparativa y aspectos de diseño
Autor (es)	Aghareed M. Tayeb, Rania Farouq, Olfat A. Mohamed y Maha A. Tony
Año de publicación del artículo científico	2019
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Limpieza de aguas aceitosas; absorbente de paja de arroz; adsorbentes orgánicos y sintéticos; demanda química de oxígeno (DQO); filtro de aceite
Tipos de adsorbente	Sintético
Composición de los adsorbentes	Material sorbente RP 18 sintetizado con paja de arroz
Condiciones operativas del adsorbente	Capacidad de adsorción fue de 6,67 g aceite/g paja de arroz 94,7% de remoción de aceites
Conclusión	Los resultados experimentales obtenidos se utilizan para desarrollar un nuevo diseño de un filtro de aceite para la lucha contra la contaminación marina



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Esponja de crecimiento propio de MoS ₂ para una limpieza fototérmica altamente eficiente de derrames de petróleo crudo de alta viscosidad.
Autor (es)	Miao Yu, Peng Xu, Jin Yang, Lai Ji, and Changsheng Li
Año de publicación del artículo científico	2020
Participante	Science Direct
Palabras clave	limpieza de crudo, alta elasticidad, MoS ₂ , materiales fototérmicos, esponjas
Tipos de adsorbente	Inorgánico
Composición de los adsorbentes	Esponja de caucho
Condiciones operativas del adsorbente	Ángulo de contacto 151° Capacidad de adsorción 15 g/g Elasticidad a la compresión 38,6 kPa
Conclusión	Esta configuración mejora en gran medida la eficiencia de recolección de petróleo crudo. El nuevo material adsorbente muestra un gran potencial para la recolección de crudo y la limpieza de derrames accidentales.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Estudios de adsorción de limpieza de derrames de petróleo utilizando carbón activado de fibra de coco (CCAC)
Autor (es)	Ukpong Anwana Abel, Gumus Rhoda Habo, Oboh Innocent Oseribho
Año de publicación del artículo científico	2020
Participante	Science Direct
Palabras clave	Carbón activado de fibra de coco, adsorbente, hidrofobicidad, oleofilicidad, capacidad de adsorción, % de eliminación de petróleo crudo, estudios de adsorción, activación química.
Tipos de adsorbente	Sintético
Composición de los adsorbentes	hidróxido de potasio (KOH) preparado a partir de carbón activado de fibra de coco
Condiciones operativas del adsorbente	Capacidad de adsorción 4859,5 mg/g a 304 K Entropía 0,517 KJ/mol.K Entalpía 134 KJ/mol.K
Conclusión	El adsorbente preparado mostró una capacidad significativa para usarse como un adsorbente de bajo costo, regenerable y ecológico en la limpieza de derrames de petróleo.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Microfibras recubiertas de óxido de grafeno reducido para la separación de agua y aceite
Autor (es)	Gianni Ferreroa, Mikael Sandgren Bocka, Erling Halfdan Stenby, Chengyi Houa y Jingdong Zhang
Año de publicación del artículo científico	2019
Participante	ScieceDirect
Palabras clave	Microfibras, óxido de grafeno, adsorción, petróleo crudo
Tipos de adsorbente	Sintético
Composición de los adsorbentes	Microfibras recubiertas de óxido de grafeno reducido
Condiciones operativas del adsorbente	Capacidad de adsorción 6,78 g/g Adsorción de plomo de 97,90% Estabilización a 300°C
Conclusión	Estas propiedades sugieren que los adsorbentes pueden usarse, preparados o combinados en dispositivos de filtrado, como un posible método de recuperación de petróleo en caso de derrames de petróleo



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Absorbente hidrofóbico de dolomita para la limpieza de derrames de petróleo: modelado cinético y estudio de isotermas
Autor (es)	Seyyed Mohammadreza Davoodia, Mehrdad Taheranb, Satinder K. Brara, Rosa Galvez-Cloutierc, Richard Martela
Año de publicación del artículo científico	2019
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Absorbente hidrofóbico de bajo costo, Dolomita, Aceites no convencionales, Cinética, Isoterma, Derrame de petróleo
Tipos de adsorbente	Sintético
Composición de los adsorbentes	Dolomita modificada con ácido palmítico
Condiciones operativas del adsorbente	Tiempo de contacto 5 min- 8 min pH 1 – 9 Temperatura 299 K – 309 K Capacidad de adsorción 64 mg/g – 498 mg/g

Conclusión	La dolomita natural y otros tipos de sales minerales son generalmente componentes polares adsorbidos debido a su naturaleza iónica y poseen poca capacidad de sorción de contaminantes no polares y altamente insolubles. Pero la dolomita modificada con ácido palmítico fue un adsorbente hidrofóbico eficiente y químico de bajo costo para la eliminación de petróleo no convencional derramado (es decir, petróleo Dilbit y Bakken) de las superficies del agua.
------------	---



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Superficie modificada mesoporosa g-C ₃ N ₄ @FeNi ₃ como adsorbente magnético rápido y competente para la recuperación de petróleo crudo
Autor (es)	Meenakshi Talukdar, Sushant Kumar Behera, Kakoli Bhattacharya, Pritam Deb
Año de publicación del artículo científico	2019
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Nitruro de carbono gráfico, Hidrofobicidad y oleofilicidad, Nanocompuesto magnético, Separación de agua y aceite, Absorbente de aceite
Tipos de adsorbente	Nanoadsorbente
Composición de los adsorbentes	nanoláminas de C ₃ N ₄ gráficas
Condiciones operativas del adsorbente	Ángulo de contacto 90° Tamaño de 514 nm
Conclusión	El nanocompuesto se puede reciclar y reutilizar de manera ecológica para la adsorción y recuperación de petróleo.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Fabricación de un novedoso copolímero injertado de nonanilquitosano-poli (acrilato de butilo) superoleofílico de bajo costo para la eliminación por adsorción de derrames de petróleo crudo
Autor (es)	Omer, RE Khalifa, T. M. Tamer, M. Elnouby, AM Hamed, Y. A. Ammar, A.A. Ali, M. Gouda, MS Mohy Eldin
Año de publicación del artículo científico	2019
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	NonanilquitosanoPoli (acrilato de butilo), Adsorbente superoleofílico, Eliminación de crudo, Cinética, Estudios termodinámicos
Tipos de adsorbente	Sintético
Composición de los adsorbentes	Copolímero injertado de nonanilquitosano-poli (acrilato de butilo)
Condiciones operativas del adsorbente	Capacidad de adsorción de 108,79 g/g a 25°C Proceso extotérmino, favorable y espontáneo
Conclusión	Los resultados nominan al adsorbente superoleofílico como un potencial adsorbente de aceite para la eliminación de derrames de petróleo.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Materiales compuestos de caucho natural/óxido de grafeno reducido: propiedades morfológicas y de adsorción de aceite para el tratamiento de derrames de petróleo
Autor (es)	Siripak Songsaeng, Patchanita Thamyongkit, Sirilux Poompradub
Año de publicación del artículo científico	2019
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Absorbente de aceite, caucho natural, óxido de grafeno reducido, material compuesto, isoterma de adsorción, reutilización
Tipos de adsorbente	Orgánico
Composición de los adsorbentes	óxido de grafeno reducido (rGO) al látex de caucho natural
Condiciones operativas del adsorbente	Capacidad de adsorción 12 g/g–21 g/g 30 ciclos de uso Eficiencia de adsorción 70%
Conclusión	Las espumas compuestas se prepararon con éxito como material absorbente de petróleo. Los rendimientos de adsorción de aceite de los materiales adsorbentes dependen de varios factores, como la morfología del adsorbente, el contenido de rGO, el tipo de aceite y las propiedades del aceite.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Un nuevo método para preparar adsorbente de aceite utilizando papel de desecho y su aplicación para la limpieza de derrames de petróleo.
Autor (es)	Jiapei Liu, Xiwen Wang
Año de publicación del artículo científico	2019
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Papel de desecho; modificación hidrofóbica; Adsorbente de aceite; Limpieza de derrames de petróleo
Tipos de adsorbente	Orgánico
Composición de los adsorbentes	Celulosa empleando papel de desecho
Condiciones operativas del adsorbente	Ángulo de contacto 125,6° Capacidad de adsorción de 16 a 28 veces su propio peso. 8 ciclos de reutilización
Conclusión	Se concluyó que el adsorbente de petróleo en este trabajo es un material promisorio para la limpieza de derrames de petróleo en cuerpos de agua.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Biorresiduos agrícolas para la eliminación por adsorción de petróleo crudo en solución acuosa
Autor (es)	Hee-Jeong Choi
Año de publicación del artículo científico	2019
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Adsorción, Mazorca de maíz, Petróleo crudo, Cinética, Tratamiento de aguas residuales
Tipos de adsorbente	Orgánico
Composición de los adsorbentes	Mazorca de maíz
Condiciones operativas del adsorbente	Capacidad de adsorción de 4,21 g/g - 7,80 g/g Energía de adsorción de 5,143 kJ/mol
Conclusión	Debido a su bajo costo, biodegradabilidad y alta capacidad de adsorción, la mazorca de maíz podría considerarse como una nueva alternativa de adsorbente.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Una revisión de los materiales de base biológica para el tratamiento de derrames de petróleo
Autor (es)	Bhairavi Doshi, Mika Sillanpaa, Simo Kalliola
Año de publicación del artículo científico	2018
Participante	ScieceDirect
Palabras clave	Derrame de petróleo, Partícula absorbente, Surfactante, Aerogel, Gelificador, Separador
Tipos de adsorbente	Orgánicos
Composición de los adsorbentes	Base biológica
Condiciones operativas del adsorbente	Capacidad de adsorción 65 g/g – 82 g/g 6 ciclos de reutilización
Conclusión	En conclusión, los diferentes adsorbentes de base biológica discutidos en esta revisión tienen tres beneficios en el tratamiento de aguas residuales aceitosas: una fuerte reducción en el contenido de aceite del agua, reutilización de residuos y recuperación de aceite. Se pueden preparar materiales efectivos a partir de recursos de base biológica, pero esto a menudo requiere una modificación significativa y costosa de los materiales nativos.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Paja de Trigo Modificada con Ácido Palmítico como Adsorbente Eficiente de Derrames de Petróleo
Autor (es)	Mingxiao Tang, Rui Zhang, Yuewu Pu
Año de publicación del artículo científico	2018
Participante	ScieceDirect
Palabras clave	Paja de trigo, ácido palmítico, esterificación, material de absorción de aceite
Tipos de adsorbente	Orgánico
Composición de los adsorbentes	Paja de trigo cruda modificada con ácido palmítico
Condiciones operativas del adsorbente	Temperatura de reacción de 90°C Tiempo de reacción 3h Capacidad de adsorción 24,31 g/g
Conclusión	La paja de trigo esterificada mostró un buen potencial para convertir residuos agrícolas en absorbentes de aceite celulósico eficientes.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Preparación de un Adsorbente Eficiente para Derrames de Petróleo a Base de Paja de Trigo
Autor (es)	Ermeng Lv, Wuyang Xia, Mingxiao Tang, Yewu Pu
Año de publicación del artículo científico	2017
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Paja de trigo; N-bromosuccinimida; Anhídrido acético; acetilación; Adsorbente
Tipos de adsorbente	Sintético
Composición de los adsorbentes	Paja de trigo acetilada
Condiciones operativas del adsorbente	Temperatura de reacción 50°C a 120°C) Tiempo de reacción 0,5 h a 3 h
Conclusión	La paja de trigo acetilada demostró un buen potencial para la utilización de residuos agrícolas como adsorbentes naturales en la limpieza de petróleo.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Espuma de poliuretano impregnada con lignina como relleno para la remoción de crudo de aguas contaminadas
Autor (es)	O.S.H. Santos, Mercês Coelho da Silva, V.R. Silvaa, W.N. Mussela, M.I. Yoshidaa
Año de publicación del artículo científico	2016
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Espuma de poliuretano, Lignina, Eliminación de aceite, Isotermas, Contaminación ambiental
Tipos de adsorbente	Sintético
Composición de los adsorbentes	Lignina sintetizada con espuma de poliuretano
Condiciones operativas del adsorbente	Adsorción máxima de aceite de 28,9 g/g Ángulo de contacto 119° Densidad $\approx 16 \text{ kg.m}^{-3}$
Conclusión	Los resultados de reutilización concluyeron que la eficiencia de remoción de aceite fue superior al 95% luego de cinco ciclos consecutivos, demostrando la buena reciclabilidad y estabilidad química del adsorbente.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Fibras de palma y adsorbentes de fibras de palma modificadas para diferentes aceites
Autor (es)	Ola Abdelwahab, Samir M. Nasr, Walaa M. Thabet
Año de publicación del artículo científico	2017
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Adsorción; fibras de palma; Derrame de petróleo; hidrofobicidad; Isoterma
Tipos de adsorbente	Orgánico
Composición de los adsorbentes	Fibras de palma (PF)
Condiciones operativas del adsorbente	Tiempo de adsorción 1 min- 120 min Espesor de película 1,1 mm - 4,5 mm Viscosidad 62 cP Densidad 85 g/cm ³
Conclusión	Los resultados mostraron una alta eficiencia de sorción y capacidad de las fibras de palma para diferentes tipos de aceite. Se demostró que los PF son fibras prometedoras debido a todas las ventajas de los desechos agrícolas más la alta resistencia de esas fibras que aparecieron en el presente estudio.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Eliminación de aceite del agua mediante espuma de poliuretano modificada con nanoarcilla
Autor (es)	Amir Ahmad Nikkhah, Hamid Zilouei, Ahmad Asadinezhad, Alireza Keshavarz
Año de publicación del artículo científico	2015
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Contaminación por hidrocarburos, Absorbente de hidrocarburos, Espuma de poliuretano, Nanoarcilla, Cloisite 20A
Tipos de adsorbente	Sintético - nanoadsorbente
Composición de los adsorbentes	Espuma de poliuretano modificado nanoarcilla
Condiciones operativas del adsorbente	Capacidad de sorción hasta en un 16% en peso
Conclusión	De los resultados de esta investigación se concluye que la capacidad de sorción de aceite ha aumentado en concentraciones iniciales bajas de aceite, mientras que ha disminuido en concentraciones iniciales altas de aceite en el caso de los nanocompositos con 2% y 4% en peso de cloisita 20A. El nanocompuesto con 3% en peso de arcilla mostró un aumento en la adsorción en todas las concentraciones iniciales de aceite.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Limpieza de derrames de petróleo mediante adsorbentes naturales estructurados hechos de fibras de totora
Autor (es)	Ting Dong, Guangbiao Xu, FumeWang
Año de publicación del artículo científico	2015
Participante	Science Direct
Palabras clave	Fibra de totora, Montajes estructurados, Absorción de aceite, Selectividad petróleo-agua , Energía superficial
Tipos de adsorbente	orgánico
Composición de los adsorbentes	Fibras de totora
Condiciones operativas del adsorbente	. La temperatura 140° C, la presión 292 Pa ,el tiempo de unión 30 min capacidad de absorción (11-14 g/g) capacidad de retención 90%, 10 ciclos de reutilización
Conclusión	Se encontró que las fibras de totora tenían una similitud química extrema con las fibras de ceiba, pero contenían un contenido de cera significativamente mayor. Además, el análisis de la energía superficial encontró que las fibras de totora tenían una energía superficial más baja (45,64 mN/m).



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Criogeles altamente porosos de caucho de grafito/isobutileno-isopreno como nuevos adsorbentes para derrames de petróleo y líquidos orgánicos
Autor (es)	Yan Hu , Xiaoyan Liu, Junchen Zou, Ting Gu, Wenbo Chai, Hongbing Li
Año de publicación del artículo científico	2013
Participante	Science Direct
Palabras clave	criogelación, grafito, adsorción de aceite, macroporoso, caucho de isobutileno-isopreno, polímero poroso
Tipos de adsorbente	sintetico
Composición de los adsorbentes	Criogeles altamente porosos de caucho de grafito/isobutileno-isopreno
Condiciones operativas del adsorbente	capacidades máximas de absorción de 17,8 gg ciclos de reutilización 30 área superficial 28,97 m ² /g
Conclusión	Los criogeles fueron sorbentes eficientes para la eliminación de pequeñas gotas de aceite dispersas en una emulsión. Las excelentes características de sorción.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Modificación hidrofóbica de espuma de poliuretano para la limpieza de derrames de petróleo
Autor (es)	Hua Li, Li fen, Liu Fenglin ,Yang
Año de publicación del artículo científico	2012
Participante	Science Direct
Palabras clave	contaminación de aceite,Absorbente de aceite,Espumas de poliuretano, oleofílico
Tipos de adsorbente	sintético
Composición de los adsorbentes	espumas de poliuretano (PU)
Condiciones operativas del adsorbente	tamaño de celda de macrosporas 400 y 700nm Capacidad de absorcion 50–60 g/g
Conclusión	La sorción de aceite de los cubos de PU modificados se mejoró especialmente en el sistema agua-aceite, respondiendo al desafío de la protección ambiental del sistema marino y el ecosistema acuoso. En contraste con los cubos de PU en blanco, la capacidad de absorción de agua de las microesferas de PU-g-LMA y PU-LMA se redujo en un 50 % y un 24 %, respectivamente.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Síntesis de espuma de poliuretano/óxido de grafeno a base de lignina y su aplicación como absorbente para la limpieza y recuperación de derrames de petróleo
Autor (es)	Oluwasola Oribayo, Xianshe Feng, Garry L, Rempelb QinminPan
Año de publicación del artículo científico	2017
Participante	Science Direct
Palabras clave	Superhidrofóbico Superoleofílico Espuma de poliuretano Separación absorbente de aceite Limpieza de derrames de petróleo
Tipos de adsorbente	sintetico
Composición de los adsorbentes	esponja de poliuretano (PU) recubierta de grafeno
Condiciones operativas del adsorbente	ángulo de contacto con el agua de 152 capacidad de sorción de 26 a 68 veces su propio peso 20 ciclo de reutilización
Conclusión	El sorbente de espuma LPU-rGO-ODA resultante exhibió características sobresalientes como posible absorbente de limpieza de derrames de petróleo, incluida una alta selectividad para la sorción de contaminantes orgánicos/petróleo en relación con el agua y una excelente reutilización



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Esponja de poliuretano recubierta de óxido de grafeno y grafeno nanoporoso como Absorbente de derrames de petróleo superhidrofóbico y reutilizable
Autor (es)	Zahra Rahmania, Mohammad TaghiSamadi, AbbassKazemib, Ali MoradRashidib, Ali RezaRahmania
Año de publicación del artículo científico	2017
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Grafeno nanoporoso, óxido de grafeno, esponja de poliuretano, absorción de aceite, reciclabilidad
Tipos de adsorbente	Sintético
Composición de los adsorbentes	Esponja de poliuretano recubierta de óxido de grafeno y grafeno nanoporoso
Condiciones operativas del adsorbente	Ciclo de reutilización 10 Capacidad de absorción 70 g/g
Conclusión	Las esponjas modificadas pueden ser considerado un sustituto prometedor de los adsorbentes convencionales, para la eliminación de manchas de aceite y solvente orgánico de las superficies del agua. Habiendo tomado todos los diversos aspectos de modificado en cuenta las esponjas, se puede concluir que desde un punto de vista económico, este tipo de los absorbentes son realmente viables para su uso en limpiezas de petróleo.



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Zeolitas sintéticas de cenizas volantes como absorbentes minerales efectivos para la limpieza de derrames de petróleo en tierra
Autor (es)	Lidia Bandura, Małgorzata Franus, Grzegorz Józefaciuk ,Wojciech Franus
Año de publicación del artículo científico	2015
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Petróleo Petróleo Eliminación absorbentes Sorción Zeolitas
Tipos de adsorbente	inorganico
Composición de los adsorbentes	Zeolitas sintéticas de cenizas volantes
Condiciones operativas del adsorbente	Relación de aceite a sorbente osciló entre 0,25 y 2,0. Tiempo de reacción 24 horas Capacidad de absorción 12-15g/g
Conclusión	zeolitas sintéticas Na-P1 y Na-X, y el adsorbente comercial Absodan es principalmente de carácter físico e involucra el relleno de mesoporos y la cobertura de la superficie externa. Por lo tanto, tanto la distribución del tamaño de las partículas como la textura de los adsorbentes son decisivos para la capacidad de sorción



FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título del artículo científico	Mezclas binarias basadas en nanopartículas de poli(alcohol vinílico) biocompatibles para el control de derrames de petróleo
Autor (es)	Rasha Refaat Fouad, Hind Abdullah Aljohani, Kamel Rizq Shoueir
Año de publicación del artículo científico	2016
Participante	ScienceDirect
Palabras clave	Alcohol de polivinilo, Nanopartículas mezclas binarias limpieza de aceite Quitosano Almidón
Tipos de adsorbente	nanoadsorbente
Composición de los adsorbentes	Nanopartículas de poli(alcohol vinílico)
Condiciones operativas del adsorbente	Angulo de contacto 105 ^a estado de equilibrio 20 min Capacidad de absorción 93,1 g/g
Conclusión	Las nanomezclas mostraron una mayor capacidad de absorción y una excelente selectividad. Los aceites absorbidos se pueden reciclar aplicando presión manual simplemente haciendo rodar las nanomezclas

ANEXO N°2. Matriz de categorización apriorística

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	ESCALA DE MEDICIÓN
¿Cuáles son los tipos de adsorbentes que contribuyen en el tratamiento de los derrames de petróleo crudo?	identificar los tipos de adsorbentes que contribuyen en el tratamiento de los derrames de petróleo crudo	Tipos de adsorbentes	Absorbentes orgánicos Absorbentes sintéticos Absorbentes inorgánicos Nano adsorbentes	(Hammouda et al. 2021) (Ma et al. 2021) (Ferrero et al. 2019)
¿Qué materiales componen los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo?	identificar los materiales que componen los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo	Materiales que componen los adsorbentes	Fibras Naturales Fuentes agrícolas Polímeros sintéticos Arcillas Nano partículas	(Tayeb et al. 2020) (Anwana Abel, Rhoda Habor y Innocent Oseribho 2020) (Sun et al. 2021)
¿Cuáles son las condiciones operativas de aplicación de los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo?	establecer las condiciones operativas de aplicación de los adsorbentes para el tratamiento de los derrames de petróleo crudo.	Condiciones operativas de aplicación de los adsorbentes	Capacidad de absorción Angulo de contacto Capacidad de retención de petróleo o sus derivados Selectividad Hidrofobicidad oleofilicidad	(Ngofa et al. 2022) (Dawodu, Abonyi y Akpomie 2021) (Yu et al. 2020)

ANEXO N°3. Cuadro resumen de artículos analizados

ARTICLE	AUTOR	DATA BASE	AÑO	TIPO DE ABSORB ENTE	COMPOSICIÓN DE ABSORBENTE
Activated carbon from bamboo and banana wood fibers as adsorbent materials for the removal of oil samples	Oluka N. Ngofa, Efstathios V. Liakos, Antonios N. Papadopoulos, George Z. Kyzas	ScienceDirect	2022	Sintético	Carbón activado sintetizados con fibras de bambú y banano
Recent advances in developing cellulosic sorbent materials for oil spill cleanup: A state-of-the-art review	Samia ben Hammouda, Zhi Chen, Chunjiang An, Kenneth Lee	ScienceDirect	2021	Nanoadsorbente	Nanocristales de celulosa
Mechanically robust, solar-driven, and degradable lignin-based polyurethane adsorbent for efficient crude oil spill remediation.	Ma, Xiaozhen; Zhang, Chang; Gnanasekar, Pitchaimari; Xiao, Peng; Luo, Qing; Li, Shuqi; Qin, Dongdong; Chen, Tao; Chen, Jing; Zhu, Jin; Yan, Ning	ScienceDirect	2021	sintético	Espuma de poliuretano a base de lignina modificada con nanotubos de carbono (CNT)
Feldspar-banana peel composite adsorbent for efficient crude oil removal from solution	Folasegun A. Dawodu, Chika J. Abonyi, Kovo G. Akpomie	Science Direct	2021	Inorgánico	Biocarbón de cáscara de plátano y feldespato

Ultralight and superhydrophobic perfluorooctyltrimethoxysilane modified biomass carbonaceous aerogel for oil-spill remediation.	Li Suna, Zhenqi Jiang, Bo Yuana, Shudi Zhi, Yujie Zhanga, JuanLi, Aiguo Wua	ScienceDirect	2021	Orgánico	Aerogel carbonoso de biomasa de cáscara de pomelo
Oil spill clean-up using combined sorbents: a comparative investigation and design aspects	Aghareed M. Tayeb, Rania Farouq, Olfat A. Mohamed y Maha A. Tony	ScienceDirect	2019	Sintético	Material sorbente RP 18 sintetizado con paja de arroz
Self-Growth of MoS ₂ Sponge for Highly Efficient Photothermal Cleanup of High-Viscosity Crude Oil Spills.	Miao Yu, Peng Xu, Jin Yang, Lai Ji, and Changsheng Li	ScienceDirect	2020	Inorgánico	Esponja de caucho
Adsorption Studies of Oil Spill Clean-up Using Coconut Coir Activated Carbon (CCAC)	Ukpong Anwana Abel, Gumus Rhoda Habo, Oboh Innocent Oseribho	Science Direct	2020	Sintético	hidróxido de potasio (KOH) preparado a partir de carbón activado de fibra de coco
Reduced graphene oxide-coated microfibers for oil-water separation.	Gianni Ferreroa, Mikael Sandgren Bocka, Erling Halfdan Stenby, Chengyi Houa y Jingdong Zhang	Sciencedirect	2019	Sintético	Microfibras recubiertas de óxido de grafeno reducido

Hydrophobic dolomite sorbent for oil spill clean-ups: Kinetic modeling and isotherm study.	Seyyed Mohammadreza Davoodia, Mehrdad Taheranb, Satinder K. Brara, Rosa Galvez-Cloutierc, Richard Martela	ScienceDirect	2019	Sintético	Dolomita modificada con ácido palmítico
Surface modified mesoporous g-C ₃ N ₄ @FeNi ₃ as prompt and proficient magnetic adsorbent for crude oil recovery	Meenakshi Talukdar, Sushant Kumar Behera, Kakoli Bhattacharya, Pritam Deb	ScienceDirect	2019	Nanoadsorbente	nanoláminas de C ₃ N ₄ gráficas
Fabrication of a novel low-cost superoleophilic nonanyl chitosan-poly (butyl acrylate) grafted copolymer for the adsorptive removal of crude oil spills.	Omer, RE Khalifa, T. M. Tamer, M. Elnouby, AM Hamed, Y. A. Ammar, A.A. Ali, M. Gouda, MS Mohy Eldin	ScienceDirect	2019	Sintético	Copolímero injertado de nonanilquitosano-poli (acrilato de butilo)
Natural rubber/reduced-graphene oxide composite materials: Morphological and oil adsorption properties for treatment of oil spills.	Siripak Songsaeng, Patchanita Thamyongkit, Sirilux Poompradub	ScienceDirect	2019	Orgánico	óxido de grafeno reducido (rGO) al látex de caucho natural
A new method to prepare oil adsorbent utilizing waste paper and its application for Oil Spill Clean-ups	Jiapei Liu, Xiwen Wang	ScienceDirect	2019	Orgánico	Celulosa empleando papel de desecho
Agricultural bio-waste for adsorptive removal of crude oil in aqueous solution. Journal of Material Cycles and Waste Management	Hee-Jeong Choi	ScienceDirect	2019	Orgánico	Mazorca de maíz

A review of bio-based materials for oil spill treatment.	Bhairavi Doshi, Mika Sillanpaa, Simo Kalliola	ScienceDirect	2018	Orgánicos	Base biológica
Wheat Straw Modified with Palmitic Acid as an Efficient Oil Spill Adsorbent	Mingxiao Tang, Rui Zhang, Yuewu Pu	ScienceDirect	2018	Orgánico	Paja de trigo cruda modificada con ácido palmítico
Preparation of an Efficient Oil-Spill Adsorbent Based on Wheat Straw.	Ermeng Lv, Wuyang Xia, Mingxiao Tang, Yuewu Pu	ScienceDirect	2017	Sintético	Paja de trigo acetilada
Polyurethane foam impregnated with lignin as a filler for the removal of crude oil from contaminated water	O.S.H. Santos, Mercês Coelho da Silva, V.R. Silvaa, W.N. Mussela, M.I. Yoshidaa	ScienceDirect	2016	Sintético	Lignina sintetizada con espuma de poliuretano
Palm fibers and modified palm fibers adsorbents for different oils	Ola Abdelwahab, Samir M. Nasr, Walaa M. Thabet	ScienceDirect	2017	Orgánico	Fibras de palma (PF)
Removal of oil from water using polyurethane foam modified with nanoclay.	Amir Ahmad Nikkhah, Hamid Zilouei, Ahmad Asadinezhad, Alireza Keshavarz	ScienceDirect	2015	nanoadorbente	Espuma de poliuretano modificado nanoarcilla
Cleanup of oil spills using structured natural adsorbents made from cattail fibers	Ting Dong, Guangbiao Xu, FumeWang	ScienceDirect	2015	organico	Fibras de totora

Graphite/Isobutylene-isoprene Rubber Highly Porous Cryogels as New Sorbents for Oil Spills and Organic Liquids	Yan Hu , Xiaoyan Liu, Junchen Zou, Ting Gu, Wenbo Chai, Hongbing Li	ScienceDirect	2013	Sintético	Criogeles altamente porosos de caucho de grafito/isobutileno-isopreno
Hydrophobic modification of polyurethane foam for oil spill cleanup	Hua Li, Li fen, Liu Fenglin ,Yang	ScienceDirect	2012	Sintético	espumas de poliuretano (PU)
Synthesis of lignin-based polyurethane/graphene oxide foam and its application as an absorbent for oil spill clean-ups and recovery	Oluwasola Oribayo, Xianshe Feng, Garry L, Rempelb QinminPan	ScienceDirect	2017	Sintético	poliuretano/óxido de grafeno a base de lignina
Nanoporous Graphene and Graphene Oxide-Coated Polyurethane Sponge as a Highly Efficient, Superhydrophobic, and Reusable Oil Spill Absorbent	Zahra Rahmani ^a , Mohammad TaghiSamadi, ^a AbbassKazemi ^b , Ali MoradRashidi ^b ,Ali RezaRahmani ^a	ScienceDirect	2017	Sintético	Esponja de poliuretano recubierta de óxido de grafeno y grafeno nanoporoso

Synthetic zeolites from fly ash as effective mineral sorbents for land-based petroleum spills cleanup	Lidia Bandura, Małgorzata Franus, Grzegorz Józefaciuk ,Wojciech Franus	ScienceDirect	2015	inorganic	Zeolitas sintéticas de cenizas volantes
Biocompatible poly(vinyl alcohol) nanoparticle-based binary blends for oil spill control	Rasha Refaat Fouad, Hind Abdullah Aljohani, Kamel Rizq Shoueir	ScienceDirect	2016	nanoadorbente	Nanopartículas de poli(alcohol vinílico)