





Remediation and monitoring methods in managing environmental risks to the ocean from oil spills: A systematic review.

Justo B. Cruz, Bach¹, Jhon Jr. Rupay, Bach², María E. Alca, Mg³, Arturo G. Velásquez, Mg⁴
^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú, ¹U20102491@utp.edu.pe, ²U19303181@utp.edu.pe,
³C26207@utp.edu.pe, ⁴C25661@utp.edu.pe

Abstract– In the present research, different researches obtained from a systematic search are reviewed to determine which are the most efficient bioremediation and detection methods to solve the problem caused by the oil spill in the world's oceans.

This is the reason for using the PICO methodology: What detection and bioremediation methods are used in the face of an oil spill in the oceans, to determine the most efficient remediation methods to solve the problem developed worldwide in the problem addressed. Subsequently, to optimize information management, the PRISMA diagram was applied, in order to be able to select appropriate articles using the inclusion and exclusion criteria in the Scopus database, from the beginning of January 2016 to August 2023. Seventeen scientific articles directly addressing bioremediation methods and 5 articles detecting environmental risks due to oil spills in the ocean were reviewed. For this reason, this systematic review highlights three main methods of oil spill remediation: SAR method, Dispersants and Bioremediation.

Key words-- SAR, Dispersants, Bioremediation, Oceans, Environmental hazards, Oil spill, Marine ecosy

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Métodos de remediación y monitoreo en la gestión de riesgos ambientales para el océano por derrames de petróleo: Una revisión sistemática.

Justo B. Cruz, Bach¹, Jhon Jr. Rupay, Bach², María E. Alca, Mg³, Arturo G. Velásquez, Mg⁴

^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú, ¹U20102491@utp.edu.pe, ²U19303181@utp.edu.pe, ³C26207@utp.edu.pe, ⁴C25661@utp.edu.pe

Resumen– En la presente investigación, se revisa diferentes investigaciones obtenidas en base a una búsqueda sistemática, para determinar cuáles son los métodos de biorremediación y detección más eficientes para solucionar al problema que ocasiona el derrame del petróleo en los océanos a nivel mundial.

Esta es la razón por la que se utiliza la metodología PICO: ¿Qué métodos de biorremediación y monitoreo se utilizan ante un derrame de petróleo en los océanos?, para determinar los métodos de remediación más eficientes para solucionar el problema desarrollado a nivel mundial en la problemática abordada. Posteriormente, para optimizar la gestión de información se aplicó el diagrama PRISMA, con el fin de poder seleccionar los artículos apropiados usando los criterios de inclusión y exclusión en la base de datos de Scopus, desde el inicio de enero de 2016 hasta agosto de 2023. Se revisó 17 artículos científicos que abordan directamente los métodos de biorremediación y 5 artículos de detección riesgos ambientales por derrame de petróleo en océano. Por tal razón, en la presente revisión sistemática destacan tres métodos principales de remediación por derrame de petróleo: Método SAR, Dispersantes y Biorremediación.

Palabras claves-- SAR, Dispersantes, Biorremediación, Océanos, Riesgos ambientales, Derrame de petróleo, Ecosistemas marinos

I. INTRODUCCIÓN

La energía es un medio necesario en la producción del trabajo y en la satisfacción de las necesidades humanas, sin embargo; estas son escasas, por ello se opta por buscar generadores de energía como los hidrocarburos o crudo. En el Perú, la mayor parte de la energía disponible proviene del petróleo y es usado en mayoría de la industria del mundo. El petróleo como fuente principal de energía en el país, existe el problema en relación con los planes de contingencia frente a los derrames de petróleo que son en su mayoría por consecuencia de irresponsabilidad humana. Estos ocurren en su mayoría a través de filtraciones naturales, plataformas petroleras, actividades de operación de pozos, sabotaje, transporte y uso como combustible por grandes embarcaciones; convirtiéndose con el tiempo en una amenaza innegable en la exploración, producción y transporte mundial de petróleo.[1]

Las consecuencias por contaminación de océanos y mares como los incidentes de gran magnitud encontramos a el yacimiento petrolífero Penglai 19-3 y en la plataforma del yacimiento petrolífero Suizhong 36-1 considerados como casos de contaminación grave. Así como otros casos a lo largo de la historia generan preocupación a diferentes investigadores del mundo, los cuales buscan encontrar herramientas o métodos de respuesta ante situaciones de contaminación por petróleo.[2]

Uno de los casos que ha llamado la atención en la literatura consultada es el de British Petroleum (BP) Deepwater Horizon, el cual, se produjo debido a una falla mecánica, provocando una explosión y la rotura del cabezal del pozo el 20 de abril de 2010. Esto impactó negativamente al ecosistema marino y sus costas cercanas al desestabilizar y contaminar los hábitats acuáticos y la atmósfera como resultado de la evaporación de los compuestos de hidrocarburos volátiles en el petróleo. [3]

Es importante, poder analizar las circunstancias en torno a la obtención de la energía del petróleo, y el impacto que ocasiona su extracción, a consecuencia de esto no solo se encuentra relacionado con el ambiente, sino que, en muchos de los casos, esta contaminación, paraliza diferentes actividades que a

su vez se están realizando y que serían completamente fallidas si se desarrollaran mientras las superficies se encuentran completamente de petróleo producto de la contaminación producida. Por lo tanto, el estudio de los mecanismos para mitigar el derrame de petróleo y la limpieza de las superficies afectadas por el mismo se han convertido en temas fundamentales a nivel mundial y que han pasado de ser responsabilidad de las empresas mineras a una responsabilidad de todos los habitantes del planeta.[2]

Para ello, la presente RSL, se sustenta en una revisión sistemática de las diferentes investigaciones que se desarrollan a nivel mundial, para pasar a clasificar los resultados y posteriormente analizar los diferentes métodos de remediación que son viables para solucionar la problemática planteada en la presente investigación.

II. METODOLOGÍA

A. Método sistemático de búsqueda con la metodología PICO

Esta revisión sistemática de la literatura (RSL), tiene la finalidad de analizar, evaluar y sistematizar los artículos obtenidos de diferentes estudios mediante un método minucioso de clasificación[4]. Para ello se realizó una búsqueda de fuentes con criterios de selección amplios en torno al problema existente del derrame de petróleo en los océanos.

Esta búsqueda tiene como resultado la diversa documentación científica relacionada con el derrame de petróleo en los océanos y el uso de los dispersantes y otros métodos implicados en la solución de esta problemática. Para ello, se realizó una búsqueda referencial usando la metodología PICO, que consiste en el planteamiento de diferentes interrogantes y estos han sido estructurado en componentes. Esto, con el fin de facilitar la búsqueda de la bibliografía focalizada con el fin de abordar de manera más concreta la problemática a desarrollar [5]. Esta metodología permite plantear preguntas por cada componente, tal como se observa en la tabla I.

TABLA I
PICO

P	I	C	O	C
¿Quién o qué? Problema	¿Qué o cómo? Intervención	¿Comparado con qué? Método	¿Qué está tratando de seguir o encontrar? Resultado	¿Dónde? Contexto
Contaminación por derrames de petróleo	Métodos de remediación	Métodos de remediación y monitoreo	Alternativa de remediación	Océano, Mares, Ríos

Fuente: Elaboración propia, basada en la metodología PICO.

En esa línea y siguiendo las pautas para esta metodología para esta investigación se ha planteado las siguientes preguntas vinculadas a cada componente PICO:

RQ: ¿Qué métodos de remediación se utilizan ante un derrame de petróleo en los océanos?

RQ1: ¿Cómo se ha definido los derrames de petróleo? ¿Qué consecuencias tienen los derrames de petróleo?

RQ2: ¿En qué casos de derrames de petróleo se ha investigado, con que impacto?

RQ3: ¿Qué niveles de eficacia han obtenido estos métodos de remediación y que limitaciones han presentado?

RQ4: ¿Qué tan eficaz ha resultado en comparación con otros métodos subjetivos de medición?
 Estas preguntas han permitido elaborar las palabras claves y vinculadas a cada uno de los componentes, tal como se observa en la tabla II.

TABLA II
PALABRAS CLAVE

P	Problema Población	Oil spill, Hydrocarbon spill, Oil pollution, Crude oil spill, Oil leak, Ecological oil disaster, Oil spill at sea, Oil emergency
I	Intervención	Bioremediation, Phytoremediation, Remediation
C	Comparación	Method, In situ, Absorbent materials, Mechanical containment and recovery, Floating barriers and absorbent barriers, Advanced oxidation
O	Resultados	Spill evaluation, Selection of the appropriate dispersant, Dispersant application, Mechanical mixing, Oil dispersion, Continuous monitoring and evaluation, SAR
C	Contexto	Ocean, Seas, Rivers, Marine oil spills, Marine trenches, Reefs, Marine Fauna, Lake

Elaboración propia. Palabras claves para realizar de manera sintetizada en la base de datos.

A partir de las preguntas PICO y las palabras claves se ha generado la siguiente ecuación de búsqueda: ("Oil spill" OR "Hydrocarbon spill" OR "Oil pollution" OR "Crude oil spill" OR "Oil leak" OR "Ecological oil disaster" OR "Oil spill at sea" OR "Oil emergency") AND (Spill AND evaluation OR "Selection of the appropriate dispersant" OR "Dispersant application" OR "Mechanical mixing" OR "Oil dispersion" OR "Continuous monitoring and evaluation") AND (Method OR "in situ" OR "Absorbent materials" OR "Mechanical containment and recovery" OR "Floating barriers and absorbent barriers" OR "Advanced oxidation") AND (ocean OR seas OR rivers OR "Marine oil spills" OR "Marine trenches" OR reefs OR "Marine Fauna" OR Lake), el cual ha sido una estrategia base para encontrar la información requerida para el trabajo de investigación.

Después de la búsqueda en Scopus y a partir de la pregunta o fórmula PICO, se ha encontrado 386 documentos, De acuerdo con [6], los criterios de inclusión fueron diseñados para capturar la calidad de la literatura relevante. Por tanto, en la revisión, se basó en los criterios de inclusión y exclusión aplicados en la BD de mencionada y se excluyó otros documentos referidos a otras áreas y/o conocimientos.

TABLA III
CONDICIONES DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Criterio de inclusión		N° de Art.	Criterio de exclusión	N° de Art.
Total	Argumento PICO	386	Ninguno	0
Año	2016 – 2023	148	Anteriores al 2016	238
Área	Ingeniería Ciencia medioambiental	111	Otras áreas y/o conocimientos	37
Tipo de documento	Article, Conference paper, Review, Conference Review	107	Libros	4
Idioma	Inglés y español	97	Chino y ruso	10
Acceso abierto	Acceso abierto	35	Acceso restringido	62
Título	Títulos relacionados a la RSL	22	Títulos no relacionados a la RSL	13
Resumen	Resúmenes relacionados a la RSL	22	Resúmenes no relacionados a la RSL	0

Fuente: Elaboración propia en base a la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión realizados en SCOPUS.

Como se observa en la tabla III, para los criterios inclusión de ha considerado documentos que sean de Acceso abierto, estudios realizados desde el 2016 a 2023 (uso de búsqueda de primera instancia) y documentos de área de Ingeniería de gestión y ciencias medioambientales (uso para el cribado). Mientras que, para los criterios de exclusión, se ha visto en la necesidad de prescindir de artículos que no aborden temáticas distintas a la investigación, artículos anteriores al año 2016, otros idiomas distintos al inglés y al español, libros u otros estudios relacionados a las consecuencias de la contaminación del ecosistema submarina más no de los métodos de remediación.

B. Análisis de proceso del PRISMA

Para la elaboración del diagrama PRISMA se tiene en cuenta la identificación de los artículos encontrados a partir de la Ecuación de Búsqueda en Scopus, los cuales en la etapa previa se ha identificado los criterios de exclusión vinculados a los años de estudios anteriores al 2016, otras áreas de conocimientos, otro tipo de documentos y otros idiomas; por ello antes del cribado se ha excluido 97 documentos. Es así como los documentos para el análisis profundo constan de 35 artículos.

Para la etapa del cribado, se analizaron los 35 artículos del registro de la base de datos Excel, aplicando los criterios de exclusión e inclusión a partir de título, resumen y texto completo.

Es así que en el registros de cribados, se excluyen 13 de los 35 documentos, esto en base a tres criterios i) aquellos documentos que son ajenos por el ecosistema y otros estudios que se alejan al tema de la problemática planteada, como son temas relacionados a recursos hídricos, ciencia y tecnología ambiental, materiales peligrosos, [7]entre otros; ii) No involucran algún tipo de metodología que contribuya con la investigación; iii) Por una determinación de antigüedad, no antes del 2015, esto debido a que del 2016 en adelante se usa la metodología de SAR's la cual se usa con la finalidad de detectar y clasificar la contaminación a causa del petróleo. [8]

Asimismo, de los 22 artículos ya preseleccionados, se realiza una evaluación para su elegibilidad, de los cuales no se excluye ningún artículo, porque estos logran cumplir con la problemática que se está desarrollando que es en base a "Métodos de remediación y riesgos medioambientales por derrame de petróleo al océano" [9]

Es de esta manera que, después de la exclusión realizada de los 35 documentos obtenidos con la búsqueda de SCOPUS, solo han sido 22 de los mismos, son los que serán incluidos en la síntesis investigativa, debido a la idoneidad para el desarrollo del presente trabajo. [10]

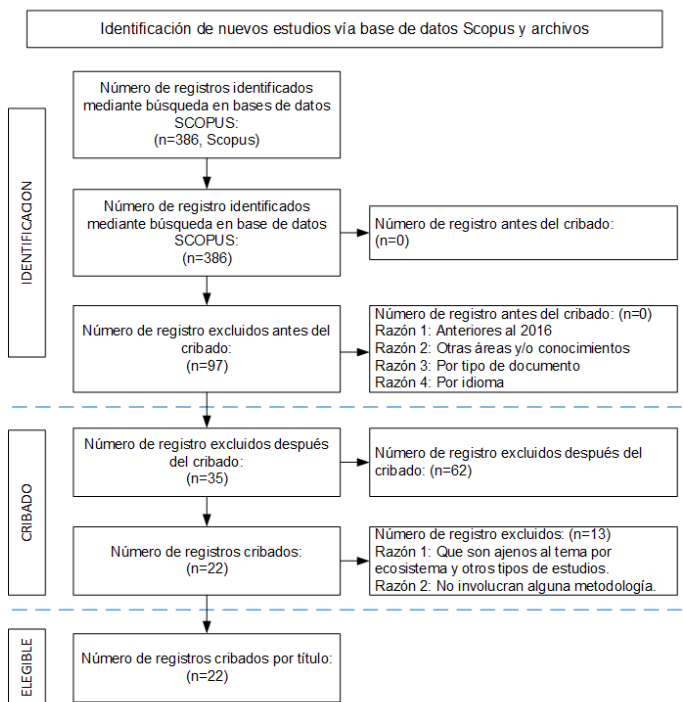


Fig. 1 Diagrama secuencial PRISMA
 Fuente: Elaboración propia a partir de [11]

III. RESULTADOS

Después de una rigurosa selección de los artículos y con la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, en el diagrama PRISMA (Figura 1), donde se identifican los documentos obtenidos por año y relevancia para el desarrollo de esta RSL, se presentan estos estudios según las fechas de publicación del mismo (figura 4), siendo este un criterio esencial para determinar el grado de interés anual en torno al tema, para lo cual se ha establecido el rango de años del 2017- hasta la actualidad, 2023.

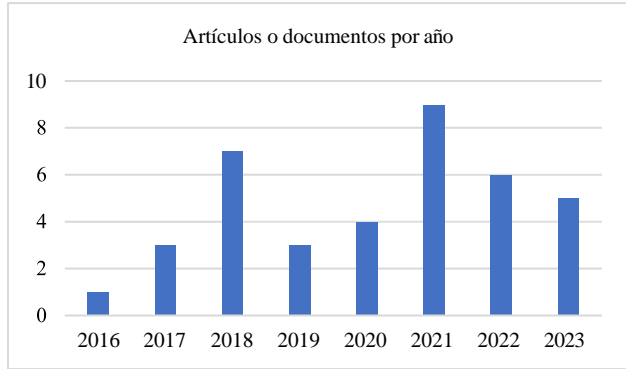


Fig 2 Número de artículos.

Elaboración propia. Muestra la publicación de los artículos por años - Extraído de Scopus.

La figura 2, muestra las investigaciones publicadas en torno al tema del presente trabajo 2016, se han obtenido (1) documento; del 2017, tres (3); del 2018, siete (7); del 2019, tres (3); del 2020, cuatro (4); del 2021, diez (10); del 2022, seis (6); del 2023, cinco (5), siendo un total de 38 investigaciones que de manera específica contribuyen a la presente investigación, esto debido a que, tienen fines y objetivos similares que ayudan a poder analizar con mayor profundidad al respecto, evidenciándose que el año 2021, es el año con mayor incidencia, lo que demuestra la preocupación de la comunidad científica en torno al problema que se plantea en la actualidad.

De igual manera, tras un análisis en torno a la premisa de los países donde se realizan estos estudios, se obtiene que son Alemania, Canadá, China, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Grecia, Perú, Reino Unido y Rumania. (Figura 3), donde principalmente existen investigaciones en torno al tema, demostrando así que el presente problema no se basa en solo una realidad nacional, sino que constituye un problema mundial que actualmente busca una solución de contingencia para las situaciones en las que se presente el mismo.

Pais de Estudio ● CHINA ● ESTADOS UNIDOS ● ALEMANIA ● AUSTRALIA ● CANADA
● FINLANDIA ● FRANCIA ● GRECIA ● PERU ● REINO UNIDOS ● RUMANIA



Fig. 3: País de origen de estudio.

Elaboración propia. Se muestra dónde se han realizado los estudios de cada artículo seleccionado. Extraído de Power BI.

TIPO DE ESTUDIO DE LOS DOCUMENTOS REVISADOS

Esta investigación busca sistematizar y evaluar qué tipo de estudio se aplicó en los artículos revisados, los cuales son de enfoque cuantitativo, puesto que busca de los 22 documentos seleccionados; evalúan los resultados de eficiencia de los diferentes métodos de remediación ambiental que existen para el control y erradicación del petróleo debido al derrame en los océanos. Este estudio se fundamenta en la recopilación de datos cuantitativos, de diferentes investigaciones que se han desarrollado en un espacio geográfico específico de un océano. Los artículos seleccionados para la presente investigación fueron seleccionados para analizar y determinar las diferencias significativas y el grado de eficacia de los métodos de remediación, así como la identificación del método de mayor utilidad para minimizar o erradicar el problema planteado.

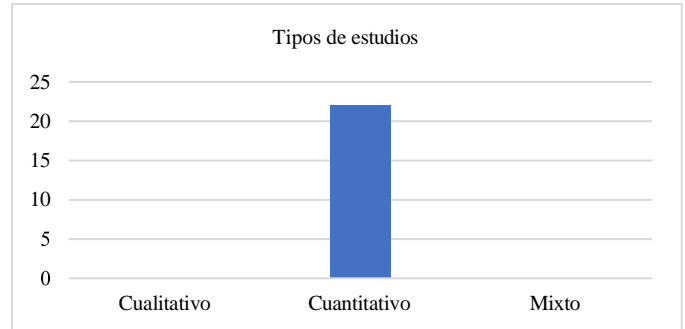


Fig. 4: Tipo de estudio

Elaboración propia. Se observa el tipo de estudio de los documentos revisados.

Por tanto, este diseño planteado permitirá analizar y sistematizar y responder satisfactoriamente a la incógnita que se ha planteado, lo cuales se exponen a continuación:

- a) **RQ1: ¿Cuál fue el caso investigado del derrame de petróleo? o ¿Qué impacto ha generado?**

Los derrames de petróleo en el entorno marino son ocasionados principalmente por el incremento de producción del petróleo, así como el aumento del tráfico marino en los océanos. [9] [12]

De acuerdo a la investigación los ejemplos que llamaron la atención fueron el del accidente por derrame de petróleo en el campo petrolífero Penglai 19-3, en el centro del mar de Bohai. Otro caso que ocasiona el derrame de petróleo es el aumento de transporte de petróleo frente a la costa del mar de Labrador. [9] [12]

Es en este sentido que se entiende de manera concreta que el impacto que ocasiona el derrame de petróleo en las zonas marinas, como son la contaminación, la destrucción de hábitat, la intoxicación, la muerte de animales y biodiversidad. Los derrames de petróleo generan un impacto negativo en el ecosistema marino, así como los efectos negativos en el cambio climático, la contaminación y la sobre explotación de los recursos. Otro de los impactos negativos es la contaminación de la fauna marina y de los peces, puesto que contienen niveles elevados de Zn, Cu, Pb, Cr, Ni y V. [9] [12][13]

- b) **RQ2: ¿Qué métodos de remediación se utilizan ante un derrame de petróleo en los océanos? o ¿Cuál es el problema que genera el derrame de petróleo?**

En los distintos artículos consultados se han identificado diferentes métodos de evaluación que permite identificar el método de remediación pertinente según el daño ocasionado. Es así que mediante el uso de la información de imágenes marinas que se adquieren mediante el Radar de Apertura Sintética (SAR), este método permite realizar un monitoreo del medio marino con la finalidad de mitigar la reducción de los daños y perjuicios de la contaminación producida por los derrames de petróleo. Para una mayor precisión y distinción de las áreas de derrame de petróleo se aplican adicionalmente, las técnicas de segmentación que se usan para monitorear estos derrames en la profundidad marina. [14]

En segundo lugar, el método muestreo la cual es una técnica para limpiar los suelos y/o aguas contaminadas, este método es aplicable a cualquier ecosistema o proceso en el que se empleen los métodos biológicos para la transformación de contaminantes en los suelos y aguas. [9]

También existen otros métodos no tan frecuentes como el método Bayesiana, Comparativo de remediación, Dinámica de fluidos computacional, Evaluación de expertos, Evaluación del riesgo de contaminación, evaluación integral, IPECA, Muestreo de arrastre vertical y método de recuento de

concentraciones y método de interpolación y Probabilidades, árbol de fallas y red bayesiana. [2]

Estos métodos permiten identificar el método de remediación adecuada para mitigar el daño marino; es así que para que este estudio se presenta 3 métodos de remediación: Método de biorremediación, dispersantes y comparativo de remediación.

El cual se inserta en la posible solución al presente problema, como un método que se caracteriza por el uso de químicos de baja toxicidad, el principal propósito de la aplicación de estos es disgregar una mancha de hidrocarburo en numerosas gotas que se puedan diluir y degradarse con la ayuda de los microorganismos que se encuentren presente en el medio. [15]

c) RQ3: ¿Qué niveles de eficacia han obtenido estos métodos de remediación y que limitaciones han presentado?

Esta pregunta permite examinar e identificar a los métodos que han tenido mejor eficiencia y las limitaciones que presentan en su uso a nivel mundial; siendo principalmente tres de ellos de mayor eficacia.

El primero de ellos el método SAR tiene un índice del 98% de eficacia, es así como, mediante la toma de capturas satelitales lo define mediante colores la magnitud del derrame. [8]. Por otro lado, está la biorremediación, la cual contribuye a la limpieza de los suelos y/o aguas contaminadas, con la ayuda de microorganismos, con una eficacia sustentada. [15]. Y como tercer método, los dispersantes con una eficacia del 60% en absorción del aceite de petróleo. [14]

d) RQ4: ¿Qué tan eficaces han resultado los métodos aplicados?

Este último tema se centra en los resultados de los métodos, SAR, el método de biorremediación, el método de dispersantes, pueden aplicarse al problema planteado del derrame de petróleo en los océanos. En ese sentido [16] , sostienen que no existe una alternativa apropiada para reducir la contaminación de los océanos y depende de la magnitud del derrame de petróleo, incluso, este autor realiza una comparación entre los métodos degradación natural, quema y concentración y recolección de producto.

Cada uno de estos métodos, son eficaces en los diferentes escenarios aplicados, ya que estos han logrado, según la literatura consultada, ha logrado remediar el derrame de petróleo o han contribuido en la disminución de estos derrames de manera global. [9]

ECOSISTEMA DE ESTUDIO

Los derrames de petróleo son accidentes que ocurren por diferentes factores, siendo estos, accidentes, error humano, avería de maquinarias o incluso desastres naturales, eso afecta de manera directa a los diferentes ecosistemas que habitan en el lugar del derrame de petróleo.

Uno de los ecosistemas más afectados y en el que se base de manera principal el problema del presente trabajo es la contaminación de la zona acuática, siendo así, que el ecosistema marino uno de los más afectados a causa de este desastre que se desarrolla de manera mundial [16]. Es en este sentido que, diferentes autores han desarrollado sus estudios en base a las condiciones y ecosistemas propios de diferentes zonas acuáticas, siendo estas el Océano Pacífico, Índico y Atlántico.

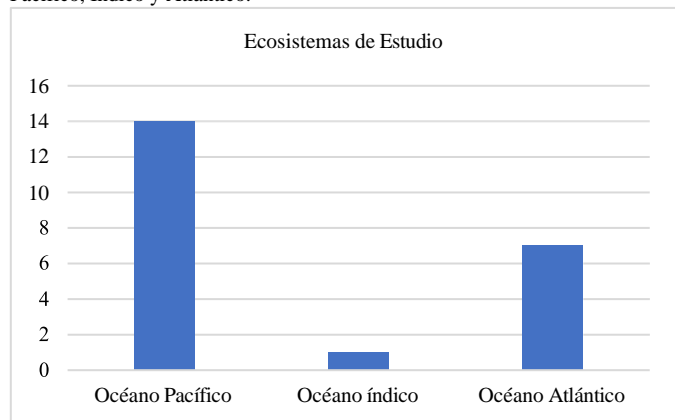


Fig. 5 Ecosistema de estudios

En la fig. 5 se evidencia los océanos donde se han realizado los estudios de los 22 artículos seleccionados para la problemática elegida.

Los diferentes artículos estudiados, analizan la contaminación de los océanos por los hidrocarburos, siendo en este sentido que, de los mismos,

atorce (14) autores se enfocan en el estudio de estos desastres desarrollados en el Océano Pacífico, uno (1) en el Océano Índico, y siete (7) en el Océano Atlántico.

En el estudio, realizado por [17], entiende que el derrame de petróleo es uno de los problemas más peligrosos que enfrentan los ecosistemas del Océano, es en este sentido, que la limpieza del mismo requiere de tecnología que además de ser caracterizada por su gran costo, es empleada específicamente, para la limpieza marina en los casos del derrame de petróleo, por lo que en su investigación identifica diferentes técnicas que ayudan con la disminución de este problema, como son *slimmers*, agentes de dispersión de petróleo, quema in situ y absorbentes de petróleo calentado con energía solar, y que con el tiempo pueden convertirse en técnicas mucho más accesibles y que las medidas de solución sean más eficientes, pues como a su vez menciona [16], las plataformas petrolíferas y los oleoductos submarinos son los más numerosos y densos dentro de la industria de explotación de crudo, en especial en el mar de Bohai, Océano Pacífico, y que la expansión de la explotación de petróleo y gas ha producido el aumento del riesgo de catástrofes por vertidos de petróleo [11].

[12], en su investigación, la cual enfoca en el Océano Índico, se evidencia que después de hacerle un continuo seguimiento a los vertidos de petróleo de las aguas costera y del mar abierto, han determinado que el empleo de un sistema de detección ayuda a disminuir los hidrocarburos en las zonas en las que se dispone de un sistema de detección que contribuye al desarrollo y pruebas de todo un sistema acuático que se emplea para la detección de las mareas.

[14], también en su estudio de los hidrocarburos en el Océano Atlántico, identifica que, las rutas marítimas encargadas de llevar el petróleo no cuentan con una gestión de respuesta ante un derrame de este, ya que hasta la actualidad los derrames en los océanos generan vertidos de petróleo los cuales suponen un riesgo para el ambiente, la economía e incluso la vida humana, y que, a largo plazo, los residuos de petróleo son difíciles de mitigar [18]. A ello [19], evidencia que en los últimos años el interés de explotación de los yacimientos de hidrocarburos especialmente en el territorio Griego, ha tenido un creciente interés, que se enfoca en esencia en la producción de derrames que tengan un impacto ambiental devastados, y que afecte directamente a la vida marina y ecosistemas del Océano, así como también a las demás actividades económicas que se desarrollan en las costas del país, y tras su trabajo, [19] busca encontrar un mecanismo que ayude a predecir la dispersión submarina y estimar el tiempo en que el derrame de este hidrocarburo pueda afectar de manera casi irreversible la zona acuática.

A. Métodos de Remediación

Después de la revisión de los 22 artículos se encontró la existencia de métodos de remediación que ayuda a plantear posibles planes de contingencia ante la existencia de este conflicto, siendo así que se evidencia el método de remediación, el cual a su vez presenta diferentes sub métodos, siendo estos los siguientes: Bayesiana, Biorremediación, Comparativo de remediación, dispersantes, evaluación de expertos, evaluación del riesgo de contaminación, evaluación integral, IPIECA, muestreo de arranque vertical y método de recuento de concentraciones y método de interpolación, probabilístico árbol de fallas y red bayesiana, SAR.

**TABLA IV
MÉTODOS DE REMEDIACIÓN DEL ESTUDIO**

MÉTODOS DE REMEDIACIÓN DEL ESTUDIO		
MÉTODOS DE REMEDIACIÓN	Autores	Cant.
Biorremediación	Wang et al., 2020; Lan et al., 2018; Perez Calderoni et al., 2018; Özgökmen et al., 2018	4
Dispersantes	Isnaeni et al., 2023; Wang et al., 2023; Grote et al., 2018; Soloviev et al., 2016	4
Comparativo de remediación: Degradación natural,	Voicu et al., 2018	1

METODOS DE EVALUACIÓN	Autores	Cant.
quemado y concentración y recolección del producto.		
SAR	Blondeau-atissier et al., 2023; Zhai et al., 2022; Amri et al., 2021; Wang et al., 2019; Holstein et al., 2018	5
Bayesiana	Lu et al., 2020; Zhang et al., 2022	2
Dinámica de fluidos computacional	Giannoulis et al., 2021	1
Evaluación de expertos	Shpenst V.A., 2021	1
Evaluación de riesgo de contaminación	Qu Y., 2022	1
Evaluación Integral	Zhou et al., 2021	1
IPIECA	Tongo et al., 2022	1
Muestreo de arrastre vertical y método de recuento de concentraciones y método de interpolación	Han et al., 2021	1

En esta tabla IV se aprecia los autores y el método aplicado en sus estudios

Tal como se observa en la tabla 4, de los 22 artículos elegidos para esta investigación donde este equivale el 100%. De esto, se identificó que el método SAR contiene 5 artículos el cual equivale 22.73%, seguido del método de biorremediación y dispersantes cada uno con 4 artículos con un porcentaje de 18.18%, y otros métodos que son 9 artículos que hablan cada uno de diferentes métodos empleados para la remediación por derrame de petróleo con un porcentaje individual de 4.55%. De los 22 artículos obtenidos, se identificó que el método SAR (figura 6), el método de biorremediación y el método de dispersantes como los más resaltantes para el desarrollo de la investigación.

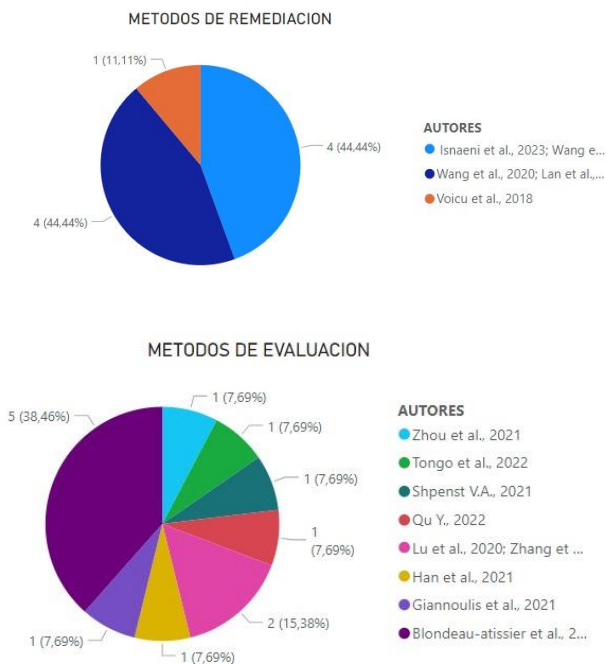


Fig. 6 Porcentaje de los estudios
Porcentaje de estudios sobre los métodos de biorremediación por autores

En sentido, se tiene que el método SAR, es parte de la detección para clasificar los niveles de la contaminación de los océanos, actualmente es considerado un preestudio del peligro de contaminación de los océanos para poder obtener información que se contribuya en la elección del método de remediación más apropiado para la solución de este. [13], también menciona que con la finalidad de poder realizar un mejor monitoreo del medio marino y poder reducir los daños y perjuicios de esta contaminación de petróleo, el uso de la información de imágenes marinas que se adquieren mediante el radar de apertura sintética (SAR) adicionándole las técnicas de segmentación que se usan para monitorear estos derrames en la profundidad, se han convertido en un desafío que se caracteriza por distinguir las áreas de derrame con la mayor precisión posible, esto por la presencia de los niveles de ruido alto, los límites borrosos y la desigual intensidad de la marea.

Por otro lado, se evidencia el método de biorremediación, o también llamada composteo [9], la cual según [20], es considerada una técnica para limpiar los suelos y/o aguas contaminadas, debido al uso de microorganismos que habitan en este mismo espacio, es de esta manera que el uso de estos microorganismos lo que hace es consumir y remediar el crudo y los residuos derivados del mismo.

Para [21], este método es aplicable a cualquier ecosistema o proceso en el que se empleen los métodos biológicos para la transformación de contaminantes en los suelos y aguas. Estos organismos pueden ser nativos del sitio contaminado o de otros sitios, los cuales son considerados como exógenos.[9], menciona que, si bien no todos los compuestos orgánicos son aptos a la biodegradación, estos métodos de biorremediación se han ido usando con el tiempo y han tenido éxito al tratar los suelos, lodos y sedimentos contaminados con los hidrocarburos del petróleo, como también para, solventes, explosivos, cloro fenoles, pesticidas, entre otros.

El método de dispersantes es un tercer método que se inserta en la posible solución al presente problema, siendo este un método que se caracteriza por el uso de químicos de baja toxicidad, que se emplean con la finalidad de romper el petróleo en la superficie del agua y permitir la degradación natural del mismo. [14]. Este método es empleado como el uso de una recuperación mecánica y quema in situ, como una segunda acción ante el derrame de petróleo.

El propósito de la aplicación de estos métodos es disolver una mancha de hidrocarburo en numerosas gotas que se puedan diluir y degradarse con la ayuda de los microorganismos que se encuentren presente en el medio.

De acuerdo con los artículos analizados, no solo existe un método que ayuda a la contaminación de los hidrocarburos, y según cada autor, el método que plantean es el más relevante e idóneo para la solución del problema.

B. Riesgos ambientales

Los riesgos ambientales, son situaciones en las que el control de la contaminación o efectos negativos de alguna actividad contribuyen a la destrucción del medio y de los ecosistemas que habitan en el mismo, y que pueden ser producidos o desarrollados por diferentes factores como son las sociedades el territorio o los desastres naturales [2]. Es así que los riesgos ambientales son causados por el derrame de petróleo de manera directa en la ecología marina y las mareas negras generando un impacto negativo en los ecosistemas marinos.[11].

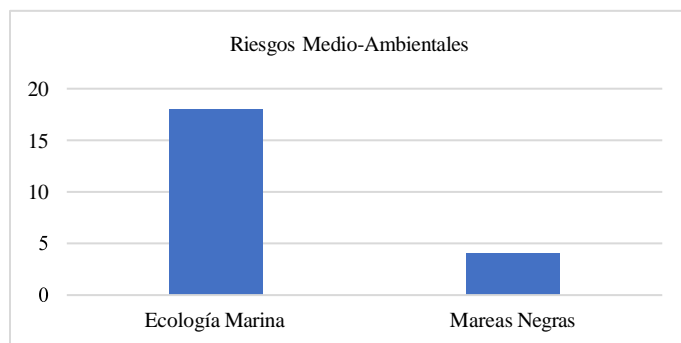


Fig. 7 Riesgos medio-ambientales
Nota: Mediante la lectura de los 22 artículos se identificó los riesgos medioambientales que presentan en cada estudio realizado.

De acuerdo con el análisis de los 22 artículos seleccionados, se evidencia la existencia de 18 autores diferentes que desarrollan sus investigaciones en

torno a los riesgos ambientales que pueden existir en los océanos para la ecología marina, y cuatro, hacen referencia en cuanto a cómo es que se desarrollaría esta problemática en la marea negra (Figura 7). Es a partir de ello que, se resaltan tres autores, que son relevantes para la presente RSL; es así que, [18] analiza respecto a los vertidos de petróleo se supone un riesgo para el ambiente, sobre todo en el transcurso de rutas de transporte de crudo o petróleo en los océanos, este artículo expone lo importancia de prevenir derrames y mejora de procesos en el transporte marítimo de petróleo.

Por otro lado, el mismo, modela los posibles escenarios de lo que sería la colisión entre barcos, la salida, dispersión y extensión del petróleo, así como las posibles maneras de respuesta y recuperación de estos, mediante un sistema COOR con red bayesiana [18].

La aplicación de este nuevo sistema permite de manera crítica identificar el escenario representativo de forzamiento, ubicación representativa del accidente, velocidad del impacto, ubicación del impacto, ángulo de impacto y operatividad del buque de respuesta [18], siendo a su vez aplicable en campo para la investigación y tener resultados de la planificación y respuesta a posibles derrames de petróleo en otras condiciones, como podría ser el hielo. Permitiendo así ser de utilidad para el plan de respuesta de las autoridades y para poder prevenir los desastres [18].

Por otro lado, [22] en su artículo, identifica a las zonas costeras, tropicales y lugares con plataformas petroleras como los territorios con mayor incidencia y sensibilidad al daño del petróleo como al aumento de las complicaciones para su limpieza. Además de ello de que los causantes más significantes son los choques entre barcos, por la causal de una precaria supervisión y la rotura de las tuberías por la falta de mantenimiento, así como la gran cantidad de falla humana en la práctica operativa de los mismos.

De igual manera, [14] analiza los métodos de remediación, en este caso se da una amplia exposición de la remediación mediante el uso de dispersantes, ante una situación de derrames de petróleo, principalmente mediante su estudio. Su principal objetivo era documentar los resultados de un taller de riesgos y beneficios que existen en el uso de los dispersantes en aquellas zonas marinas de Alemania, para poder demostrar esto como la mejor opción a la respuesta de derrames en Alemania.

IV. Discusiones

En este estudio se revisa la investigación sobre métodos de remediación ante un derrame de petróleo, uno de los problemas más peligrosos, que enfrentan los ecosistemas del Océano [9]. Así como las plataformas petrolíferas y los oleoductos submarinos son los más numerosos y densos dentro de la industria de explotación de crudo [20]. Se entiende que el derrame de petróleo es uno de los problemas más peligrosos que enfrentan los ecosistemas del Océano, es en este sentido, que la limpieza de este requiere de tecnología que además de ser caracterizada por su gran costo, es empleada específicamente, para la limpieza marina en los casos del derrame de petróleo [17].

Se encontró el método SAR, este método sirve para la detección y para clasificar los niveles de la contaminación de los océanos, actualmente es considerado como un preestudio que define la magnitud de la contaminación de los océanos para poder obtener información que se contribuya en la elección del método de remediación más apropiado [13]. En segundo lugar, este método logro encontrar imágenes obtenidas en diferentes años mediante el análisis satelital entre los años 2005-2012, muestra 160 imágenes de las cuales el mayor derrame detectado fue en Kazakhsan en 2006. [23]

El método de remediación tiene como objetivo brindar respuesta para mitigar o remediar derrames de crudo. Estos son empleados para limpiar los suelos y/o aguas contaminadas, debido al uso de microorganismos que habitan en este mismo espacio, es de esta manera que el uso de estos microorganismos lo que hace es consumir y remediar el crudo y los residuos derivados del mismo. [9]. Este método también ha ido usando para remediar los suelos, lodos y posos contaminados con los hidrocarburos de manera exitosa y en la actualidad en los océanos o mares, también relacionado como complemento después de realizar el método In-Situ. [9]

A diferencia del método de Biorremediación, el método de dispersantes es empleado como el uso de una recuperación mecánica y quema in situ, como una segunda acción ante el derrame de petróleo. El principal propósito de la aplicación de estos es disgregar una mancha de hidrocarburo en numerosas gotas que se puedan diluir y degradarse con la ayuda de los microorganismos que se encuentren presente en el medio [14]. Los dispersantes son relacionados como segunda acción ante métodos de respuesta inmediata en un derrame, de acuerdo con simulaciones de su accionar, facilita el desarrollo de otros métodos como el de biorremediación.

V. Conclusiones:

Después de un largo, constante y arduo estudio sobre las posibles soluciones a la contaminación oceánica debido a los derrames de petróleo, es satisfactorio manifestar que el objetivo del trabajo planteado en la RSL se ha podido lograr de forma óptima. Para su realización, se desarrolló la revisión de documentos de manera sistemática con información que fuera satisfactoria para lograr el objetivo, lo que nos llevó a la obtención de 22 artículos que fueron fundamentales para el desarrollo de esta RSL.

De acuerdo con el análisis y el estudio de la documentación se encontraron diferentes artículos relacionados a los métodos de remediación, siendo el de biorremediación uno de los más efectivos, por su constante aplicación en suelos, y lodos, y tras las recientes investigaciones, se ha convertido en uno muy eficaz también en las superficies acuáticas. Adicional a ello están los dispersantes por su rol en la preparación antes de la biorremediación y además de ser un mecanismo de respuesta en la quema del In-Situ. Y por último el método SAR considerado como el pre estudio para detectar y definir la magnitud del derrame de petróleo en los océanos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Y. K. Adofo, E. Nyankson, and B. Agyei-Tuffour, "Dispersants as an oil spill clean-up technique in the marine environment: A review," 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10153.
- [2] X. Zhou, J. Kou, H. Chao, and T. Wang, "Evaluating pollution degree of oil spills on the sea surface," *E3S Web of Conferences*, vol. 293, p. 01020, Jul. 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202129301020.
- [3] S. Joye and I. MacDonald, "Offshore oceanic impacts from the BP oil spill," *Nat Geosci*, vol. 3, no. 7, p. 446, Jul. 2010, doi: 10.1038/NGEO902.
- [4] D. Carrizo and C. Moller, "Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: un estudio de mapeo sistemático Methodological structures of systematic literature review in software engineering: a systematic mapping study," vol. 26, pp. 45–54, 2018.
- [5] C. Mamédio, C. Santos, C. Andrucio De Mattos Pimenta, M. Roberto, and C. Nobre, "Online ESTRATEGIA PICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN Y LA BÚSQUEDA DE EVIDENCIAS A ESTRATÉGIA PICO PARA A CONSTRUÇÃO DA PERGUNTA DE PESQUISA E BUSCA DE EVIDÊNCIAS," 2007, Accessed: Oct. 06, 2023. [Online]. Available: www.eerp.usp.br/rlae/ArtigodeAtualizacao
- [6] R. J. Torracó, "Writing Integrative Literature Reviews," <http://dx.doi.org/10.1177/1534484316671606>, vol. 15, no. 4, pp. 404–428, Oct. 2016, doi: 10.1177/1534484316671606.
- [7] O. Ogunbiyi, R. Al-Rewaily, J. Saththasivam, J. Lawler, and Z. Liu, "Oil spill management to prevent desalination plant shutdown from the perspectives of offshore cleanup, seawater intake and onshore pretreatment," *Desalination*, vol. 564, p. 116780, 2023, doi: 10.1016/j.desal.2023.116780.
- [8] E. Amri *et al.*, "Automatic offshore oil slick detection based on deep learning using SAR data and contextual information," p. 6, Sep. 2021, doi: 10.1117/12.2598032.
- [9] C. Wang *et al.*, "Quantitative evaluation of in-situ bioremediation of compound pollution of oil and heavy metal in sediments from the Bohai Sea, China," 2019, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110787.
- [10] F. Merlin *et al.*, "Dispersants as marine oil spill treating agents: a review on mesoscale tests and field trials," *Environmental Systems Research*, vol. 2021, no. 1, p. 37, 2021, doi: 10.1186/s40068-021-00241-5.
- [11] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," 2020, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [12] S. M. C. Murphy, M. A. Bautista, M. A. Cramm, and C. R. J. Hubert, "Diesel and Crude Oil Biodegradation by Cold-Adapted Microbial Communities in the Labrador Sea," *Appl Environ Microbiol*, vol. 87, no. 20, pp. 1–21, Sep. 2021, doi: 10.1128/AEM.00800-21.
- [13] D. Blondeau-Patissier *et al.*, "Detection of marine oil-like features in Sentinel-1 SAR images by supplementary use of deep learning and empirical methods: Performance assessment for the Great Barrier Reef marine park," 2023, doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.114598.
- [14] J. Zhai, C. Mu, Y. Hou, J. Wang, Y. Wang, and H. Chi, "A Dual Attention Encoding Network Using Gradient Profile Loss for Oil Spill Detection Based on SAR Images," *Entropy*, vol. 24, no. 10, p. 1453, Oct. 2022, doi: 10.3390/e24101453.
- [15] M. Grote *et al.*, "The potential for dispersant use as a maritime oil spill

- response measure in German waters,” *Mar Pollut Bull*, vol. 129, no. 2, pp. 623–632, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.10.050.
- [16] I. Voicu, V. F. Panaitescu, M. Turof, M. Panaitescu, and L. G. Dumitrescu, “Comparative study on the use of the different methods used for cleaning the sea water surfaces,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 400, no. 8, p. 082020, Sep. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/400/8/082020.
- [17] Isnaeni, I. T. Sugiarto, N. Yudasari, and R. S. Mohar, “Carbon Dots for Improving Water and Oil Absorption of Sponges,” *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 1201, no. 1, p. 012082, Jan. 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1201/1/012082.
- [18] Q. Wang, J. Zhang, and F. Su, “Offshore platform extraction using RadarSat-2 SAR imagery: A two-parameter CFAR method based on maximum entropy,” *Entropy*, vol. 21, no. 6, p. 556, Jun. 2019, doi: 10.3390/e21060556.
- [19] L. Lu, F. Goerlandt, K. Tabri, A. HE, O. A. Valdez Banda, and P. Kujala, “Critical aspects for collision induced oil spill response and recovery system in ice conditions: A model-based analysis,” *J Loss Prev Process Ind*, vol. 66, p. 104198, 2020, doi: 10.1016/j.jlp.2020.104198.
- [20] C. Wang *et al.*, “Quantitative evaluation of in-situ bioremediation of compound pollution of oil and heavy metal in sediments from the Bohai Sea, China,” *Mar Pollut Bull*, vol. 150, p. 110787, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110787.
- [21] L. J. P. Calderon *et al.*, “Bacterial community response in deep Faroe-Shetland Channel sediments following hydrocarbon entrainment with and without dispersant addition,” *Front Mar Sci*, vol. 5, no. MAY, p. 159, May 2018, doi: 10.3389/fmars.2018.00159.
- [22] M. Cristina Emperatriz, E. Tongo, J. Marleny, L. Rojas, L. Ysabel, and C. Gutierrez, “2nd LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development-LEIRD 2022: Exponential Technologies and Global Challenges: Moving toward a new culture of entrepreneurship and innovation for sustainable Study of the application of Geographic Information Systems for the analysis of the behavior of oil spills in terrestrial and marine ecosystems. A systematic review between the years 2017-2022,” no. 1, 2022, doi: 10.18687/LEIRD2022.1.1.211.
- [23] A. Holstein, M. Kappas, P. Propastin, and T. Renchin, “Oil spill detection in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea with the help of ENVISAT ASAR data,” *Environ Earth Sci*, vol. 77, no. 5, p. 198, Mar. 2018, doi: 10.1007/s12665-018-7347-0.