

Héroes invisibles: rol de los microorganismos en la limpieza de hidrocarburos en el mar

Invisible heroes: the role of microorganisms in the cleanup of hydrocarbons in the sea

Milene Villalobos¹ , Neil Alvarado¹ ,
Sebastian Macht¹  y José Rojas¹ 

1 Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.



Citar como: Villalobos *et al.* (2024). «Héroes invisibles: rol de los microorganismos en la limpieza de hidrocarburos en el mar». *South Sustainability*, 5(2), e107. DOI: 10.21142/SS-0502-2024-e107

Artículo recibido: 28/8/2024
Revisado por pares
Artículo aprobado: 17/9/2024

Este documento formó parte de los trabajos generados en el marco del «Encuentro científico - Derrame de hidrocarburos: Soluciones desde la academia» organizado por la Universidad Científica del Sur (Lima-Perú, 2024).



© Los autores, 2024. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

*E-mail de correspondencia:
mvillalobosc@cientifica.edu.pe

RESUMEN

Hoy en día, los derrames de petróleo no son casos aislados. El uso en gran medida de hidrocarburos genera altas tasas de probabilidades de derrames. Lamentablemente, el Perú no es la excepción en la incidencia de derrames de petróleo. Ante estos eventos la biorremediación con microorganismos marinos (bacterias y cianobacterias) surge como una solución sostenible para implementar planes de contingencia ante potenciales acontecimientos de contaminación por hidrocarburos. Entre las bacterias más importantes resaltan los géneros *Achromobacter*, *Acinetobacter* y *Pseudomonas*, *Alteromonas*, *Haloferula*, *Ruegeria* y *Alcanivorax*. Asimismo, bacterias nativas peruanas como *Vibrio fluvialis* y *Vibrio sp.* y la cianobacteria *Anabaena cicadae* han mostrado potencial de biodegradación. Es imperativo que las autoridades promuevan la investigación sobre el uso de consorcios microbianos autóctonos en ambientes naturales en adición de nutrientes, en diferentes estratos y zonificación de la costa peruana.

Palabras clave: derrames de petróleo, bacterias, cianobacterias, biorremediación

ABSTRACT

In today's world, oil spills are no longer isolated incidents. Extensive use of hydrocarbons greatly increases the likelihood of spills. Unfortunately, Peru is no exception when it comes to the incidence of oil spills. As a response to such events, bioremediation with marine microorganisms (bacteria and cyanobacteria) represents a sustainable solution in the implementation of contingency plans against potential hydrocarbon contamination. Among the most important bacteria in this regard are the genera *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Alteromonas*, *Haloferula*, *Ruegeria* and *Alcanivorax*. Additionally, native Peruvian bacteria such as *Vibrio fluvialis*, *Vibrio sp.* and the cyanobacterium *Anabaena cicadae* have been shown to possess biodegradation potential. It is imperative that authorities promote research on the use of indigenous microbial consortia in natural environments, in addition to nutrients, in different strata and zones along the Peruvian coast.

Keywords: Oil spills, bacteria, cyanobacteria, bioremediation



Introducción

Los derrames de petróleo en el mar nos enseñan la importancia crucial de la gestión ambiental, la regulación estricta y corporativa para proteger nuestros océanos y las comunidades que dependen de ellos. El uso de hidrocarburos ha aumentado significativamente en los últimos siglos, ya que desempeñan un papel vital en el desarrollo de la economía global (Vázquez Criado, 2019) y responden a una demanda en constante crecimiento (Speight, 2019). Sin embargo, este aumento en el uso de hidrocarburos ha provocado numerosos impactos negativos, como el aumento de la contaminación ambiental debido a numerosos derrames accidentales durante los procesos de extracción, transporte y almacenamiento de petróleo crudo (Castillo et al., 2020). Estos impactos son extremadamente dañinos para los ecosistemas acuáticos y terrestres, porque generan cambios mutagénicos, toxicidad aguda y crónica, y daño físico en los organismos acuáticos (Li et al., 2024; Cerón et al., 2014; Montoya et al., 1999; Gonçalves et al., 2008).

Entre los primeros derrames de petróleo en el mar, se cita el ocurrido en 1967, en el cual el petrolero SS Torrey Canyon derramó 120 000 toneladas (T) de petróleo frente a las costas de Cornualles, en Reino Unido (Viesca et al., 2004). Este evento marcó el inicio de una larga serie de desastres ecológicos relacionados con derrames de petróleo, a la vez que reveló la vulnerabilidad de nuestros océanos y la necesidad de medidas preventivas y de respuesta más efectivas. Desde entonces, se han producido numerosos derrames de petróleo significativos, entre ellos el devastador derrame de Deepwater Horizon el 20 de abril de 2010 en Estados Unidos, que liberó 4,9 millones de barriles de petróleo crudo al mar durante un periodo de 87 días (Dickey y Huettel, 2016).

Lamentablemente, el Perú, no se vio exento de este tipo de desastres ecológicos, como el ocurrido el 15 de enero de 2022, durante la descarga de petróleo del buque Mare Doricum, que ocasionó un derrame de 1460 toneladas métricas de petróleo en las costas del mar de Ventanilla, que se extendieron a las costas de Ancón y Chancay (Imarpe, 2022b). El desastre tuvo impactos negativos en la calidad del agua, los sedimentos y los organismos marinos, desde especies bentónicas hasta grandes depredadores (Imarpe, 2022b), y afectó a organizaciones sociales de pescadores artesanales (Capurro et al., 2023; Velásquez et al., 2023), el turismo y a los habitantes de diversas zonas costeras.

Estos incidentes subrayan la fragilidad de los ecosistemas marinos ante los derrames de petróleo, y resaltan la necesidad de implementar medidas de mitigación y respuesta más eficaces para minimizar los efectos adversos sobre los ecosistemas. En este sentido, la biorremediación por parte de microorganismos marinos surge como una estrategia sostenible de limpieza frente a sucesos graves de contaminación por hidrocarburos en

el mar (Gómez et al., 2006). Los microorganismos pueden degradar y transformar los hidrocarburos en sustancias menos nocivas o incluso inofensivas (Narváez et al., 2008). Asimismo, la biorremediación con microorganismos marinos, entre ellos cianobacterias y bacterias, es un método menos invasivo y más económico, que permite una solución ambientalmente amigable y puede ser aplicada *in situ*. Eventualmente, conocer los procesos y efectividad de la biorremediación de hidrocarburos por microorganismos en agua marina es fundamental para enfrentar los desafíos contemporáneos respecto a los derrames de petróleo en los diversos océanos y sus ecosistemas.

Enfoque y discusión

El descubrimiento de la capacidad de las bacterias para degradar petróleo en el mar se remonta a la década de 1970, cuando los científicos (Atlas y Bartha, 1972) estudiaron el comportamiento de las bacterias frente a la presencia de hidrocarburos. Así, observaron que dichas bacterias podían metabolizar hidrocarburos y transformarlos en compuestos menos nocivos. Entre los grupos bacterianos se encuentran las clases Gammaproteobacteria y Alphaproteobacteria (Perdigão et al., 2024), y con respecto a los géneros de bacterias que desempeñan funciones vitales en la degradación de hidrocarburos están: *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Alkanindiges*, *Alteromonas*, *Arthrobacter*, *Dietzia*, *Enterobacter*, *Kocuria*, *Marinobacter*, *Mycobacterium*, *Pandorea*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Streptobacillus*, *Streptococcus* y *Rhodococcus* (Wanapaisan et al., 2018). El proceso de biorremediación, que incluye desde la identificación de la contaminación hasta la optimización del proceso, se ilustra en la figura 1.

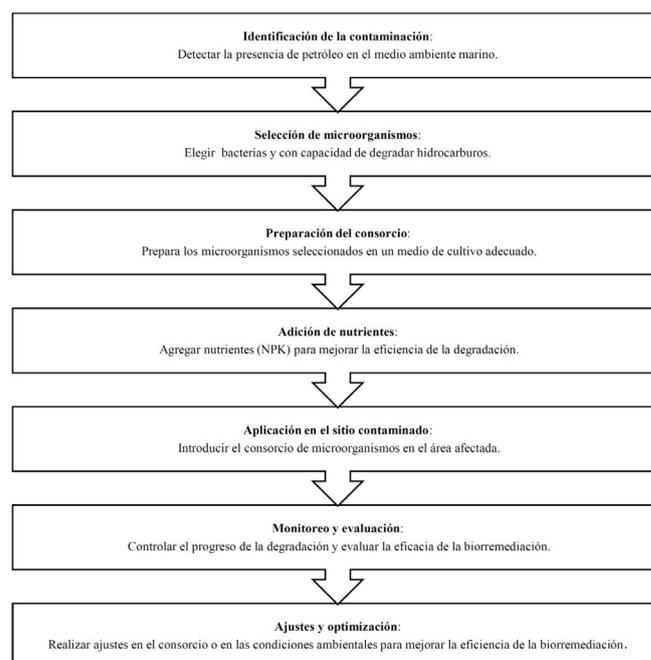


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de biorremediación en ambientes marinos.

Un estudio realizado por Valencia y colaboradores (2019) sobre una simulación de un derrame de petróleo en el mar mostró que las bacterias *Alteromonas*, *Haloferula*, *Ruegeria* y *Alcanivorax* son las principales participantes en la degradación de hidrocarburos en el océano. Por otro lado, Abed (2010) estudió la capacidad en consorcio de las bacterias y cianobacterias en experimentos de cultivo de *Pseudomonas* en sinergia a la cianobacteria *Synechocystis*, lo que resultó en un aumento de 8 veces en la biomasa de la cianobacteria en presencia de hexadecano. Esto sugiere que ciertos consorcios de microorganismos pueden ser efectivos para la biorremediación de sitios contaminados con petróleo, aunque su eficiencia depende del tipo de hidrocarburos presentes en el petróleo (Abed, 2010). En otro estudio, se encontró que *Pseudomonas aeruginosa* tiene una notable capacidad de adaptación en ambientes contaminados, basada en muestras recolectadas de hidrocarburos en cuatro playas (Jaramillo Paba y Ospino, 2010).

Hanghai Zhou y colaboradores (2023) investigaron la eficacia de un consorcio bacteriano formado por degradadores de petróleo y productores de biosurfactantes en la biorremediación de sedimentos contaminados por petróleo. El consorcio, dominado por *Pseudomonadota* (46,2 %-68,0 %), *Bacteroidota* (6,2 %-31,8 %), *Campylobacterota* (1,7 %-28,3 %) y *Patescibacteria* (0,4 %-9,7 %), mejoró significativamente la eliminación de n-alcenos C8-C40 ($80,2 \pm 2,8$ % de eficiencia) y compuestos aromáticos ($34,4 \pm 10,8$ % de eficiencia) en 10 semanas. El análisis de los microorganismos mostró que, al introducir un grupo de bacterias (consorcio microbiano), se activaron las capacidades de degradación de la contaminación en los microorganismos que ya estaban presentes en el lugar. Además, estas bacterias introducidas y las que ya estaban presentes comenzaron a trabajar juntas de manera más efectiva. Esto indica que usar este grupo de bacterias podría ser una estrategia efectiva para limpiar sedimentos contaminados con petróleo.

En el Perú, aunque se han realizado pocos estudios sobre el uso de microorganismos para la biorremediación, algunos resultados son prometedores. Otero y colaboradores (2021) investigaron bacterias marinas nativas, como *Vibrio fluvialis* y *Vibrio* sp., recuperadas de una zona cercana a una plataforma de extracción petrolera en Tumbes. Estas bacterias, que poseen el gen del benceno dioxigenasa, demostraron capacidad para degradar ciertas fracciones de hidrocarburos del petróleo, lo que las hace potencialmente útiles en la biorremediación de futuros derrames. De manera similar, Mendoza y Guerrero (2015) realizaron un estudio sobre la capacidad de biorremediación de *Pseudomonas aeruginosa* en la degradación de Diesel-2 en agua de mar bajo condiciones de laboratorio durante 5 días. Los resultados mostraron un porcentaje significativo de biodegradación de petróleo e indicaron el potencial de *P. aeruginosa* como

un microorganismo prometedor para la biorremediación de hidrocarburos. En general, hasta la fecha no se han obtenido hallazgos recientes de bacterias emergentes candidatas, sino que se ha experimentado con cepas ya conocidas. Los géneros *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Bacillus*, *Achromobacter* y *Nocardia* fueron los más empleados (Sihuacollo, 2015). El uso de microorganismos autóctonos para la biorremediación es ideal, ya que evita la introducción de especies no nativas y previene la competencia y el desplazamiento de los organismos locales (Pereira et al., 2019).

Las cianobacterias también han demostrado una notable capacidad para la biorremediación de hidrocarburos. En estudios de laboratorio, *Microcystis holsatica* y *Anabaena cicadae* han mostrado una reducción significativa de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), con *Anabaena cicadae* logrando una disminución del 91,10 % de TPH (Agu et al., 2022). La eficiencia de la biorremediación depende en gran medida de las condiciones ambientales. Además, las cianobacterias pueden producir biosurfactantes, los cuales mejoran la solubilidad de los hidrocarburos y facilitan así su degradación (Hamouda et al., 2023). Un estudio realizado por Ugboma et al. (2023) analizó cómo la cianobacteria *Oscillatoria* sp. puede degradar el petróleo crudo en el agua de mar con la adición de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) al agua, para ver si esto mejoraba la capacidad de la cianobacteria para descomponer el petróleo. Los resultados mostraron que, cuando se añadieron estos nutrientes, la cantidad de hidrocarburos en el agua disminuyó de 8,992 mg/l a 1,486 mg/l. Sin los nutrientes, la cantidad de hidrocarburos solo disminuyó a 7,272 mg/l. Esto sugiere que *Oscillatoria* sp. tiene la capacidad de descomponer el 83,5 % del petróleo crudo cuando se le añaden nutrientes.

Limitaciones en el uso de bacterias marinas biorremediadoras de petróleo

El uso de microorganismos marinos para la biorremediación de petróleo enfrenta varias limitaciones que afectan su eficacia. Muchas veces depende de las condiciones ambientales, como temperatura, pH y salinidad (Pereira et al., 2019). En entornos naturales, las bacterias deben competir por recursos limitados, como nutrientes y espacio, y las interacciones con otros microorganismos pueden ser tanto beneficiosas como perjudiciales (Hamouda et al., 2023). Además, introducir consorcios bacterianos exógenos puede alterar la biodiversidad microbiana local y afectar negativamente las dinámicas ecológicas y la salud del ecosistema. Aunque los estudios de laboratorio y ensayos en microcosmos han mostrado resultados prometedores, llevar estas prácticas a gran escala en entornos naturales presenta desafíos logísticos y técnicos (Valencia et al., 2019).



Conclusiones y recomendaciones

Los microorganismos biorremediadores de petróleo representan una solución biotecnológica prometedora para mitigar potenciales impactos de los derrames de petróleo en los ecosistemas marinos. Las bacterias *Alteromonas*, *Haloferula*, *Ruegeria*, *Alcanivorax*, *Pseudomonadota* y *Pseudomonas*, y las cianobacterias *Synechocystis*, *Microcystis holsatica*, *Anabaena cicadae* y *Oscillatoria* sp., así como diferentes consorcios, han demostrado capacidad para degradar ciertas fracciones de hidrocarburos del petróleo.

En el Perú se han estudiado algunas bacterias nativas como *Vibrio fluvialis*, *Vibrio* sp. y *Pseudomonas aeruginosa*, como potenciales bacterias biorremediadoras. No obstante, la variabilidad en la eficiencia de degradación, las complejas interacciones microbianas y los desafíos en la escalabilidad y aplicación práctica limitan su uso en ambientes naturales ante un verdadero derrame. Debido a esto, se recomienda el uso de consorcios de microbios autóctonos en ambientes naturales en adición de nutrientes (NPK), a una escala considerable para evaluar la efectividad y seguridad de la biorremediación en diferentes estratos y zonificación de la costa peruana.

La alta incidencia de derrames de petróleo de los ecosistemas acuáticos del territorio peruano hace necesaria la intervención de las autoridades y organismos competentes, entre los que se incluyen el Ministerio

del Ambiente (Minam), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), el Ministerio de Energía y Minas (Minem), Petroperú, el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp), el Ministerio de Salud (Minsa) y los gobiernos regionales y locales. Se hace un llamado para que estas instituciones ejecuten la implementación de planes de biorremediación con el uso de microorganismos degradadores de los derivados de hidrocarburos, promuevan facilidades y permisos para la investigación de microorganismos con potencial biorremediador en ambientes naturales, y, finalmente, fomenten la investigación en el campo de la ingeniería genética para mejorar la capacidad de remediación de microorganismos como bacterias, cianobacterias y microalgas, con el fin de incrementar su tolerancia a diversos contaminantes orgánicos.

Conflictos de interés

Los autores manifiestan no tener conflictos de interés

Contribución de los autores

Los autores han colaborado igualmente en la concepción, redacción y revisión del manuscrito.

Fuente de financiamiento

El presente manuscrito fue redactado con el apoyo logístico de la Universidad Científica del Sur.

Referencias bibliográficas

- Abed, R. M. (2010).** «Interaction between cyanobacteria and aerobic heterotrophic bacteria in the degradation of hydrocarbons». *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(1), pp. 58-64. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.10.008>
- Agu, K., Orji, M., Ikele, M., Uwanta, L. y Onyeneho, V. (2022).** «Hydrocarbon biodegradation potential of cyanobacteria in oil polluted soil». *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 6(7), pp. 733-737.
- Atlas, R. M. y Bartha, R. (1972).** «Degradation and mineralization of petroleum in seawater: Limitation by nitrogen and phosphorus». *Biotechnology and Bioengineering*, 14(3), pp. 309-317. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bit.260140304>
- Capurro, V. P., Carhuaz, E. O., Omura, R. K., Bustamante, C. A. y Salcedo, J. R. (2023).** «Percepción socioambiental sobre el derrame de petróleo en el litoral peruano en 2022». *Apuntes Universitarios*, 13(3), pp. 22-31.
- Castillo Rogel, R. T., More Calero, F. J., Cornejo La Torre, M., Fernández Ponce, J. N. y Mialhe Matonnier, E. L. (2020).** «Aislamiento de bacterias con potencial biorremediador y análisis de comunidades bacterianas de zona impactada por derrame de petróleo en Condorcanqui (Amazonas, Perú)». *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), pp. 215-225. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.656>
- Cerón Benavides, S. M., Santos-Acevedo, M., Gómez Cerón, A. E., Ospina-Salazar, G. H., Imués Figueroa, M. A. y Gómez-León, J. (2014).** «Evaluación de la toxicidad aguda de un fluido de exploración offshore en la fecundación del erizo de mar *Lytechinus variegatus*». *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 43(2), 383-405.
- Dickey, R. y Huettel, M. (2016).** «Seafood and beach safety in the aftermath of the Deepwater Horizon oil spill». *Oceanography*, 29(3), pp.196-293. Disponible en: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2016.83>
- Gómez García, M. L., Vivas Aguas, L. J., Ruiz R., R. A., Reyes D., V. R. y Hurtado, C. A. (2006).** «Bacterias marinas nativas degradadoras de compuestos orgánicos persistentes en Colombia». Santa Marta: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR.
- Gonçalves, R., Scholze, M., Ferreira, A. M., Martins, M. y Correia, A. D. (2008).** «The joint effect of polycyclic aromatic hydrocarbons on fish behavior». *Environmental Research*, 108(2), pp. 205-213. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.008>
- Hamouda, R.A., Alhumairi, A. M. y Saddiq, A. A. (2023).** «Simultaneous bioremediation of petroleum hydrocarbons and production of biofuels by the micro-green alga, cyanobacteria, and its consortium». *Heliyon*, 9(6). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16656>
- Hu, M., Zhang, F., Li, G., Ruan, H., Li, X., Zhong, L., Chen, G. y Rui, Y. (2022).** «*Falsochromobacterium tianjinense* sp. nov., a new petroleum-degrading bacteria isolated from oily soils». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11833.
- Jaramillo, G., Paba, G. y Ospino, M. (2010).** «Aislamiento de bacterias potencialmente degradadoras de petróleo en hábitats de ecosistemas costeros en la Bahía de Cartagena, Colombia». *Nova*, 8(13), pp. 76-86. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/24629448.441>
- Li, X., Wu, Q., Wang, Y., Li, G. y Su, Y. (2024).** «UHPM dominance in driving the formation of petroleum-contaminated soil aggregate, the bacterial communities succession, and phytoremediation». *Journal of Hazardous Materials*, 471(134322), 134322. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134322>
- Li, Y., Liu, Y., Guo, D. y Dong, H. (2024).** «Differential degradation of petroleum hydrocarbons by *Shewanella putrefaciens* under aerobic and anaerobic conditions». *Frontiers in Microbiology*, 15. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1389954>
- Mendoza, A. A. y Gerrerro, P. A. (2015).** «Biodegradación de petróleo diesel-2 en agua de mar por *Pseudomonas aeruginosa* en un biorreactor aireado y agitado». *SCIÉND0*, 18(1), pp. 23-37.
- Montoya, S. J., Concha, A., Alcalde, O. R., Alvarez, J. C., García, J. G., Guerra, F. W., ... Y Rojas, J. C. (1999).** «La biorremediación de la contaminación con hidrocarburos». *Gestión y Ambiente*, 2(3), pp. 57-66.
- Narváez-Flórez, S., L. Gómez, M. y Martínez, M. M. (2008).** «Selección de bacterias con capacidad degradadora de hidrocarburos aisladas a partir de sedimentos del Caribe colombiano». *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 37(1), pp. 61-75.
- Otero, R., Ortiz, T. y Ordinola, A. (2021).** «Caracterización de cepas de *Vibrio* spp. biorremediadoras de petróleo aisladas de agua marina». *Manglar*, 18(1), pp. 21-26. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2021.003>
- Parach, A., Rezvani, A., Assadi, M. M. y Akbari-Adergani, B. (2017).** «Biodegradation of heavy crude oil using Persian Gulf autochthonous bacterium». *International Journal of Environmental Research*, 11, pp. 667-675. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s41742-017-0059-6>
- Perdigão, R., Tomasino, M. P., Magalhães, C., Carvalho, M. F., Almeida, C. M. R. y Mucha, A. P. (2024).** «Microbial response to a port fuel spill: Community dynamics and potential for bioremediation». *Marine Pollution Bulletin*, 203, 116434. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116434>
- Pereira, E., Napp, A. P., Allebrandt, S., Barbosa, R., Reuwsaat, J., Lopes, W., Kmetzsch, K., Estadísticas, C. C., Schrank, A., Dallegre, A., Peralba, M., Passaglia, L., Bento, F. y Vainstein, M. (2019).** «Biodegradation of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater by autochthonous microorganisms». *International Biodeterioration & Biodegradation*, 145, 104789. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104789>
- Sihuacollo, D. (2015).** *Biorremediación por microorganismos degradadores de hidrocarburos*. [Tesis de grado, Universidad Alas Peruanas]. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/9462>
- Speight, J. G. (2019).** *Handbook of industrial hydrocarbon processes*. Gulf Professional Publishing.
- Ugboma, C. J., Sampson, T., Jumbo, T. y Tamunoiboroma, E. (2023).** «Bioremediation potentials of Halotolerant *Oscillatoria* sp in the remediation of crude oil polluted water». *International Journal of Clinical and Diagnostic Pathology*, 4(2), pp. 45-52. Disponible en: <https://www.microbiojournal.com/article/100/4-2-8-716.pdf>
- Valencia-Agami, S. S., Cerqueda-García, D., Putzeys, S., Uribe-Flores, M. M., García-Cruz, N. U., Pech, D., García-Maldonado, J. Q. (2019).** «Changes in the bacterioplankton community structure from Southern Gulf of Mexico during a simulated crude oil spill at mesocosm scale». *Microorganisms*, 7(10), 441. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/microorganisms7100441>
- Vázquez Criado, I. (2019).** *Cuando el futuro nos alcance: retos del próximo paradigma tecnológico para empresas y trabajadores*. [Tesis de grado, Universidad Rey Juan Carlos]. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31126.50242/1>
- Velasquez Cokche, A., Villalobos Porras, E. y Wasiw Buendía, J.I. (2023).** «El derrame de petróleo en la refinería La Pampilla y sus efectos en el ecosistema marino costero y la economía local del distrito de Ancón (Lima, Perú)». *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, (11), A-003. Disponible en: <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202301.A003>



Viesca, M. I. H. y de Villa, D. R. R. (2004). *Responsabilidad civil por contaminación marina por vertido de hidrocarburos. A propósito del Prestige*. Oviedo: Ediciones de la Universidad de Oviedo.

Wanapaisan, P., Laothamteep, N., Vejarano, F., Chakraborty, J., Shintani, M., Muangchinda, C. y Pinyakong, O. (2018). «Synergistic degradation of pyrene by five culturable bacteria in a mangrove sediment-derived bacterial consortium». *Journal of Hazardous Materials*, 342, pp. 561-570. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.08.053>

Zhou, H., Liu, Q., Jiang, L., Shen, Q., Chen, C., Zhang, C. y Tang, J. (2023). «Enhanced remediation of oil-contaminated intertidal sediment by bacterial consortium of petroleum degraders and biosurfactant producers». *Chemosphere*, 330, p.138763. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138763>