

Derrames de petróleo

Mamá: Mi abuela y yo vimos la televisión hoy y escuchamos esto. Un accidente de barco en el mar provocó un “derrame de petróleo” que dañó gravemente El medio ambiente. ¿Qué significa “derrame de petróleo”?



Mijail M. Yakimov

Instituto de Ciencias Polares, ISP-CNR, Messina, Italia

Derrames de petróleo

Sinopsis

No podemos imaginar la vida diaria sin el gasto de una enorme cantidad de energía que obtenemos al consumir los **combustibles fósiles**, como el carbón, el gas natural y, especialmente, el petróleo crudo, que es una mezcla de hidrocarburos líquidos de petróleo (LPH), moléculas orgánicas que consisten en átomos de carbono unidos entre sí y a átomos de hidrógeno. La mayoría, si no todos, los LPH son dañinos para los seres vivos debido a su toxicidad, mutagenicidad y carcinogenicidad (capacidad de causar cánceres). El petróleo crudo y otros combustibles fósiles se formaron hace 50-350 millones de años y ahora se encuentran en el subsuelo profundo en varios lugares del mundo. Para explotar el petróleo, debe extraerse de sus yacimientos y transportarse alrededor del mundo. Cuando cualquiera de estas operaciones sale mal, debido a varios tipos de accidentes, puede ocurrir una grave contaminación del medio ambiente con LPH. Los derrames de petróleo se refieren a liberaciones accidentales en aguas oceánicas de hidrocarburos líquidos de petróleo desde barcos, refinerías o plataformas petrolíferas, y representan uno de los tipos de desastre más importantes para el medio ambiente marino. Además de matar peces, mamíferos marinos y aves, cuando una mancha de petróleo llega a la costa, daña los hábitats litorales (cerca de la costa) de la vida silvestre y las playas, afectando así a la biota terrestre y a los asentamientos humanos. Los grandes vertidos accidentales al océano, por ejemplo, los accidentes de los petroleros Amoco Cadiz y MT Haven, y el vertido de BP/Deepwater Horizon, son catástrofes comerciales y ambientales. Normalmente, se necesitan operaciones de limpieza de petróleo de un mes (a veces de un año) para que las áreas circundantes al accidente vuelvan a la normalidad. Por este motivo, se han realizado grandes esfuerzos para mitigar los vertidos de petróleo con la ayuda de nuevas tecnologías, especialmente la biotecnología, en un intento por alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) pertinentes.

La microbiología y el contexto social

La microbiología: microbios marinos que degradan hidrocarburos, **Biorremediación** del medio marino contaminado, estrategias de bioestimulación y bioaumentación para mejorar la eficacia de la biolimpieza. Cuestiones de sostenibilidad: derrames de petróleo, biota marina y salud humana; agua de mar, sedimentos y contaminación costera; biotecnología para combatir los derrames de petróleo y eliminar la contaminación.



Algunas cifras sobre los derrames de petróleo en plataformas petroleras y buques de gran tonelaje (VLCC)

- El 16 de marzo de 1978, el petrolero VLCC Amoco Cadiz se partió en dos y se hundió frente a las costas de Bretaña (Francia), dejando caer su carga de 246.000 toneladas métricas de crudo ligero en las aguas del Canal de la Mancha. La mancha se extendió rápidamente, cubriendo una superficie de 3.700 kilómetros cuadrados. 76 playas sufrieron los efectos del vertido de petróleo y murió más vida marina que en cualquier otro vertido de petróleo registrado anteriormente.
- En junio de 1979, el pozo petrolero Ixtoc 1, operado por la empresa estatal mexicana Pemex en el Golfo de México, colapsó y se vertieron aproximadamente 480.000 metros cúbicos de petróleo. La mancha de petróleo resultante del derrumbe medía alrededor de 1100 millas cuadradas y afectó a Rancho Nuevo, una región de la costa mexicana que alberga importantes sitios de anidación de tortugas marinas lora.
- El 11 de abril de 1991, el MT Haven, que transportaba unas 144.000 toneladas de petróleo crudo, explotó frente a las costas de Génova (Italia). Como resultado del accidente, entre 30.000 y 40.000 toneladas métricas de petróleo se vertieron en el mar, mientras que las 80.000 toneladas métricas restantes se quemaron parcialmente durante el incendio o se hundieron en el petrolero hundido. Durante los siguientes 12 años, la costa mediterránea de Italia y Francia, especialmente alrededor de Génova y el sur de Francia, estuvo contaminada.
- En abril de 2010, un derrame de petróleo de un pozo de petróleo del fondo marino provocó la explosión de la plataforma petrolífera Deepwater Horizon de British Petroleum. La explosión del pozo de petróleo descargó aproximadamente 500.000 toneladas métricas de petróleo y al menos 250.000 toneladas métricas de gas natural en las aguas profundas del Golfo de México. El accidente se considera el mayor derrame de petróleo en la historia de la industria petrolera y también causó graves daños al medio ambiente marino. Según el Centro para la Diversidad Biológica, el derrame de petróleo mató a más de 82.000 aves, 25.900 mamíferos marinos, 6.000 tortugas marinas y decenas de miles de peces, entre otros. Tuvo un gran impacto en las industrias regionales de mariscos y le costó a BP más de 60 mil millones de dólares (<https://epis.boem.gov/final%20reports/5518.PDF>).

Derrames de petróleo: la microbiología

1. *El océano contiene una cantidad significativa de diversos microbios naturales (autóctonos) que se alimentan de petróleo crudo.* Si bien solo las grandes descargas accidentales en el océano que resultan en derrames de petróleo reciben la mayor parte de la atención, los incidentes más pequeños y crónicos, como las fugas de oleoductos y petroleros, son una ocurrencia regular. En todos los casos, como resultado de la actividad humana, el petróleo se introduce en el mar a escala global, lo que conduce a la distribución generalizada de LPH en el medio marino. Afortunadamente para nosotros, la capacidad de degradar los hidrocarburos del petróleo, es decir, convertirlos en biomasa y CO₂, es una característica metabólica que se encuentra con relativa frecuencia entre los microorganismos marinos, que se denominan **hidrocarbonoclastico** bacterias que se alimentan de aceite (ver **Abo** en la galería de retratos de **MicroDefenders**) estos microorganismos suelen representar menos del 0,1 % de la microbiota marina en ecosistemas **prístinos**, pero “florecen” hasta llegar a ser predominantes (hasta el 90 %) en ecosistemas contaminados por petróleo. Es difícil sobreestimar su contribución a la prosperidad de la vida en nuestro planeta, ya que sin sus actividades

Un marco de educación en microbiología centrado

metabólicas “invisibles” nuestros océanos se convertirían en cuerpos de agua fangosos y sin vida cubiertos por una gruesa película de petróleo crudo.

Dado que el petróleo crudo es una mezcla compleja de diferentes hidrocarburos, la degradación completa de los LPH solo se puede lograr mediante la acción colectiva de microorganismos asociados pero independientes, especializados para degradar diferentes fracciones de LPH. Los hidrocarburos alifáticos o alcanos que varían en tamaño y estructura pueden constituir hasta el 50% del petróleo crudo.

Dependiendo de la fuente de petróleo, y generalmente se convierten en alcoholes primarios por oxidación del carbono terminal, antes de ingresar al metabolismo general a través de la **Vía de la β -oxidación** los hidrocarburos poliaromáticos (cíclicos) se encuentran entre los componentes más importantes del petróleo crudo, y su estabilidad molecular, hidrofobicidad y baja solubilidad en agua son algunos de los principales factores que contribuyen a su persistencia en el medio marino. Sin embargo, estos hidrocarburos sirven de alimento a diferentes microbios marinos que inician la degradación mediante la incorporación de ambos átomos de oxígeno de una molécula de O₂ al sustrato por dioxigenasas hidroxilantes del anillo aromático. Un segundo tipo de dioxigenasa abre entonces el anillo aromático hidroxilado, que luego entra en el metabolismo central. En ambos casos, el metabolismo de los LPH los convierte en biomasa microbiana, CO₂ y agua.

2. Biorremediación de ambientes marinos contaminados por petróleo. Limpieza y recuperación de un derrame de petróleo es una operación muy compleja y difícil y depende de muchos factores, entre ellos el tipo de petróleo derramado, la temperatura del agua, la ubicación del derrame y los tipos de costas y playas (si las hay) involucradas. La eliminación de todas las consecuencias negativas tratables de los derrames de petróleo puede llevar semanas, meses o incluso años. Las operaciones humanas destinadas a combatir los vertidos accidentales de petróleo suelen comenzar con limpiezas físicas, implican diversas tecnologías, entre las que se encuentran la quema controlada, la extracción de petróleo y el uso de **dispersantes químicos** la quema controlada es la que se aplica con más frecuencia. Puede reducir significativamente la cantidad de petróleo vertido en el agua de mar, pero puede causar una importante contaminación del aire. El desnatado es una operación muy eficiente para recoger el petróleo vertido flotante mediante el despliegue de grandes absorbentes flotantes (llamados barreras) como barreras que acorralan y reducen la dispersión de una mancha de petróleo, y luego eliminan el petróleo contenido mediante el desnatado. Desafortunadamente, el “acorralado” y el desnatado requieren aguas tranquilas en todas las fases del proceso, lo que es poco común en mar abierto.

La aplicación de un dispersante químico permite la rápida disipación de una mancha de petróleo al dispersarla. El petróleo en forma de microgotas se distribuye por toda la columna de agua. Si bien se trata de una operación muy eficaz para retirar el petróleo vertido de la superficie del mar, no resuelve el problema de intoxicación de la biota marina que habita bajo el agua y en los sedimentos.

Para limpiar o remediar un ambiente marino contaminado, es necesario eliminar el petróleo dispersado. Este proceso se denomina biorremediación y se refiere principalmente a la capacidad de las bacterias hidrocarbonoclasticas marinas para limpiar y restaurar hábitats contaminados. Al funcionar como parte de una red biológica compuesta por diversos miembros de la comunidad microbiana, son responsables de la transformación inicial de los LPH tóxicos en intermediarios inofensivos, que finalmente terminan con la producción de biomasa microbiana, CO₂ y agua.

Un marco de educación en microbiología centrado

3. **Estrategias de bio-estimulación para mejorar la eficacia de la biorremediación.** Comprender el funcionamiento de la comunidad microbiana es esencial para la gestión del rendimiento durante la remediación de un entorno marino contaminado, en particular para identificar y aliviar los parámetros limitantes de la velocidad. Una serie de factores pueden influir en la respuesta de las bacterias hidrocarbonoclasticas en caso de un derrame, y también en su eficacia para degradar los hidrocarburos. La baja temperatura de los ecosistemas oceánicos profundos y polares (generalmente 2-4 °C), los bajos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el agua de mar y la baja biodisponibilidad de los LPH (especialmente a bajas temperaturas), se encuentran entre los factores más importantes, que afectan negativamente el rendimiento de la biorremediación de un entorno marino contaminado por petróleo. Aunque no podemos aumentar la temperatura del mar en un sitio contaminado, podemos estimular a las bacterias hidrocarbonoclasticas para que hagan su trabajo mejor y más rápido. Esto se puede lograr mediante la aplicación de fertilizantes que contengan N y P, para aliviar las concentraciones de nutrientes limitantes de la velocidad, y dispersantes, para aumentar la biodisponibilidad de los LPH limitantes de la velocidad.

En un esfuerzo por lograr una alta eficiencia de degradación del aceite durante la bioestimulación, los investigadores han investigado muchos fertilizantes. Recetas y composiciones para optimizar el proceso. Los mejores resultados se obtuvieron mediante la aplicación de varias matrices hidrófobas de liberación lenta de nitrógeno y fósforo. Estas capacidades duales son muy importantes ya que, después de la distribución del fertilizante sobre el derrame de petróleo mediante aviones (pulverización aérea) o mediante pulverización desde los barcos directamente, dichas partículas compuestas se concentrarán en la mancha de petróleo, debido a interacciones hidrófobas-hidrófobas (el petróleo también es hidrófobo), análogas a la atracción mutua de los materiales magnéticos, en lugar de hundirse o dispersarse y diluirse hasta una concentración prácticamente nula en el agua. La liberación lenta de nutrientes de las partículas, a su vez, determina la eficacia a largo plazo de la bioestimulación al entregar los nutrientes necesarios a los microbios que degradan los hidrocarburos (que también se reúnen en la mancha de petróleo) durante un largo período de tiempo.

Como se indicó anteriormente, el uso de dispersantes expone la vida acuática al petróleo dispersado. Pero las pequeñas gotas se biodegradan más fácilmente por las bacterias hidrocarbonoclasticas. Por lo tanto, existe un requisito importante: el dispersante debe ser mínimamente tóxico. Si bien muchos dispersantes químicos presentan una toxicidad significativa, afortunadamente muchos microbios producen compuestos tensioactivos, llamado Bioemulsionantes y biosurfactantes, que actúan como dispersantes. La aplicación de estas sustancias de origen biológico como dispersantes de petróleo es un método muy atractivo para la bioestimulación de los microbios marinos que se alimentan de petróleo y se está desarrollando en muchos laboratorios biotecnológicos para mejorar la eficacia de la biorremediación de sitios contaminados con petróleo.

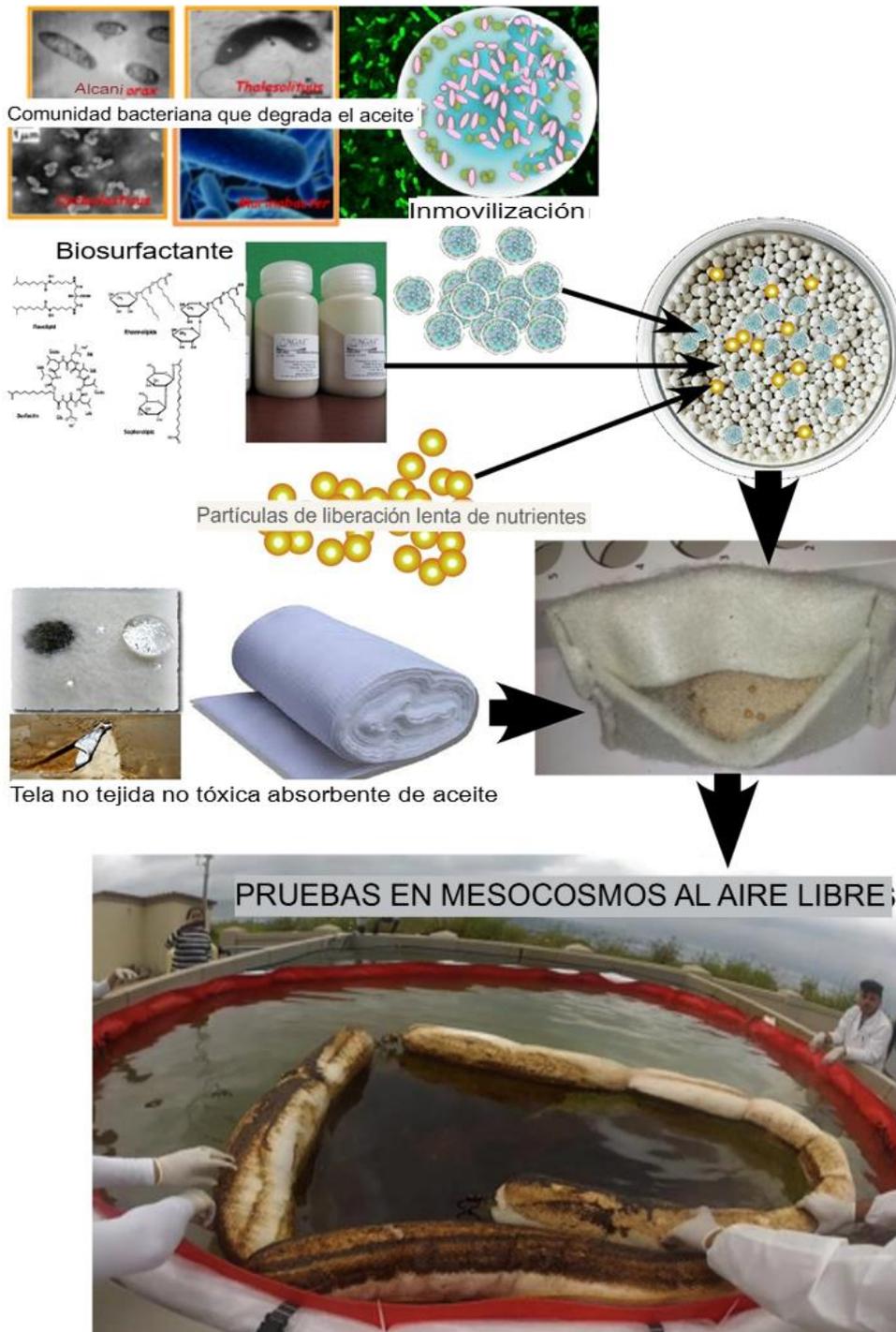
4. **Estrategias de bioaumentación para mejorar la eficacia de la biorremediación** Aunque la bioestimulación de los microbios que se alimentan de petróleo es un escenario muy prometedor para combatir los derrames de petróleo, el tiempo que tardan los microbios que se alimentan de petróleo en multiplicarse hasta alcanzar concentraciones máximas que median tasas máximas de degradación es significativo. Y cuanto más limpia y prístina esté el agua antes del derrame, menor será la concentración de bacterias hidrocarbonoclasticas existentes y más largo el período durante el cual el número de bacterias es limitante para la velocidad de biodegradación. Durante este período de multiplicación desde bajas concentraciones bacterianas previas al derrame hasta concentraciones máximas posteriores al derrame, el petróleo está produciendo graves daños ecológicos. La bioaumentación es el proceso de adición de microbios metabólicamente activos que se alimentan de petróleo en cantidades significativas para aliviar la limitación inicial de la tasa de biomasa microbiana y alcanzar inmediatamente

Un marco de educación en microbiología centrado

altas tasas de biorremediación. Lo ideal sería implementar las variedades autóctonas, es decir, de microbios que se alimentan de petróleo originalmente presentes en el lugar contaminado, para impulsar la degradación del petróleo. Afortunadamente para nosotros, muchas bacterias hidrocarbonoclasticas marinas son verdaderamente cosmopolitas, es decir, están ampliamente distribuidas en los océanos del mundo, y su utilización en escenarios de bioaumentación no crea preocupaciones sobre nuevas especies invasoras.

5. Soluciones biotecnológicas integradas para combatir los derrames de petróleo en el mar. La biotecnología de los derrames de petróleo es un tema apasionante y en rápida evolución. Por ejemplo, como se puede comprobar en una visita al sitio web de un proyecto europeo recientemente finalizado, “Kill●Spill” (2012-2016), se está desarrollando un absorbente de petróleo bio-boom autorregenerante con capacidades mejoradas de absorción y biorremediación. Como se ha mencionado anteriormente, el equipo más común utilizado para controlar y combatir los derrames de petróleo de pequeña y modesta escala es la aplicación de grandes absorbentes flotantes en forma de salchichas, llamadas barreras de petróleo. Hasta ahora, después de la saturación con petróleo, los absorbentes de las barreras deben sustituirse por material nuevo, lo que genera costes operativos y de tratamiento de residuos. Pero ¿qué puede pasar si las salchichas de las barreras se rellenan con consorcios microbianos que degradan el petróleo? Para ir aún más lejos y de forma más avanzada, ¿qué puede pasar si las salchichas de las barreras se rellenan con (i) consorcios microbianos que degradan el petróleo, más (ii) nutrientes de liberación lenta, más (iii) dispersantes de base biológica. En presencia del petróleo absorbido, los dos últimos aditivos activarán la biomasa del petróleo. microbios que se alimentan y que así regeneran el absorbente y aumentan su vida útil. Este producto es conocido como el Bio-Boom.

Un marco de educación en microbiología centrado



La preparación y prueba del Bio-Boom En presencia del absorbente eficiente, el contaminante de petróleo es absorbido y degradado lentamente por la comunidad degradante de hidrocarburos ubicada dentro del Bio-Boom.

Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Desafíos

(<https://sdgs.un.org/2030agenda>)

Durante la extracción, el transporte y el procesamiento del petróleo se producen derrames de petróleo de pequeña, mediana y, especialmente, de gran escala, que contaminan considerablemente los entornos marinos y dañan la biota marina y costera. La prevención de estos efectos negativos de los derrames de petróleo mediante la acción de las poblaciones microbianas naturales hidrocarbonoclasticas o que se alimentan de petróleo está relacionada con varios ODS, entre ellos:

Un marco de educación en microbiología centrado

- **Objetivo 1. Poner fin a la pobreza.** La pesca es una fuente importante de empleo e ingresos en las comunidades costeras de los países de bajos ingresos. Los derrames de petróleo que envenenan las poblaciones de peces locales e impiden o reducen la recolección de peces y mariscos también pueden aumentar la pobreza en esas comunidades. La aceleración del retorno a la normalidad, mediante la biorremediación, reduce el impacto de los derrames de petróleo en la pobreza.
- **Objetivo 2. Poner fin al hambre.** La pesca es una fuente importante de alimentos en las comunidades costeras de los países de bajos ingresos. Como se indica en el Objetivo 1, la biorremediación puede reducir la escasez de peces y mariscos como fuentes de alimento.
- **Objetivo 3. Vidas saludables.** El hambre favorece el consumo de alimentos contaminados, incluidos los mariscos contaminados con petróleo, lo que puede tener importantes consecuencias negativas para la salud. Como se indica en el Objetivo 1, la biorremediación puede reducir el tiempo necesario para restablecer la salud de los mariscos.
- **Objetivo 8. Promover el pleno empleo.** Ver Objetivo 1.
- **Objetivo 11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.** Los asentamientos costeros suelen estar en regiones de patrimonio natural vulnerables a los desastres marinos. Durante el accidente de la plataforma petrolífera Deepwater Horizon, el petróleo vertido afectó a más de 450 millas de la costa del Golfo de México, dañando considerablemente el ecosistema costero e impactando negativamente a las comunidades costeras. Normalmente, se necesitan muchos años para que un ecosistema se recupere por completo de un derrame de petróleo, por lo que los científicos han estado buscando formas de acelerar la limpieza de las áreas afectadas. Hay muchos aspectos positivos que se pueden sacar de la producción de microorganismos que se alimentan de petróleo y su posterior aplicación mediante la propagación sobre áreas contaminadas. La degradación acelerada y facilitada de los LPH ayudaría a los ecosistemas a recuperarse rápidamente de un desastre por derrame de petróleo, convirtiéndolos en un entorno saludable mucho más rápido.
- **Objetivo 12. Eliminar la contaminación.** La entrada accidental de petróleo crudo en el medio marino provoca cambios en las comunidades microbianas naturales, lo que reduce la diversidad pero, afortunadamente para nosotros, algunos microorganismos responden positivamente y desempeñan un papel vital en la degradación de los LPH. Sin estas diminutas criaturas, es probable que el petróleo vertido se acumule y produzca una espesa mancha de petróleo en la superficie del océano, que afecte a la fotosíntesis de las algas, la oxigenación del agua de mar e intoxique a los animales marinos y a la microbiota planctónica y bentónica.
- **Objetivo 14. Conservación del mar.** Los derrames de petróleo tanto crónicos como accidentales causan efectos drásticos en los vertidos de petróleo crudo afectan a todos los niveles de la vida planctónica y bentónica marina: dañan la salud de los mamíferos acuáticos, las aves y los peces, afectan a la flora y la fauna costeras y a la vegetación de las orillas. Los vertidos de petróleo crudo provocan cambios significativos en las comunidades microbianas marinas al reducir su diversidad, pero al mismo tiempo inician una proliferación de bacterias hidrocarbonoclasticas. Estos microorganismos desempeñan un papel fundamental en la biodegradación y el destino final del petróleo, remediando así los hábitats contaminados. La necesidad de minimizar el daño ambiental hace que valga la pena desarrollar métodos y tecnologías eficaces y fáciles de aplicar para combatir las manchas de petróleo, incluido el uso de microorganismos que se alimentan de petróleo. Es necesario estudiar y comprender exhaustivamente su

Un marco de educación en microbiología centrado

fisiología para su posterior uso en tecnologías de limpieza y para la conservación de un mar limpio.

Posibles implicaciones para las decisiones

1. Individual

Actualmente, nuestra vida cotidiana se basa en el consumo de una enorme cantidad de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y, especialmente, el petróleo crudo que se utilizan para producir energía y diversos tipos de fuentes de energía alternativas y respetuosas con el medio ambiente y de procesos de química verde es más apremiante, pero también más desafiante. Sin embargo, debemos abandonar este estilo de vida dependiente de los combustibles fósiles antes de que sea demasiado tarde. Para lograrlo, la humanidad necesita una cohorte de jóvenes científicos y empresarios que creen e implementen estos principios y métodos innovadores. Por lo tanto, una decisión individual clave es: ¿debería yo personalmente formar parte del esfuerzo global para encontrar e implementar alternativas respetuosas con el medio ambiente a los combustibles fósiles?

2. Políticas comunitarias

- a. Establecer formas alternativas de producción de energía (sistemas híbridos de energía eólica y solar, energía maremotriz, etc.).
- b. Establecimiento de sistemas biológicos para producir biogás y biocombustibles utilizando residuos orgánicos locales y subproductos del manejo ganadero.
- c. Las refinerías de petróleo y los puertos para los petroleros deberían estar ubicados muy lejos de las ciudades y los parques nacionales de vida silvestre. La reducción del consumo disminuirá el riesgo de contaminación al minimizar la cantidad de petróleo crudo extraído y transportado.

3. Políticas nacionales

- a. Crear incentivos y desincentivos eficaces, como impuestos, para reducir el uso de combustibles fósiles y aumentar la seguridad en su extracción, transporte y uso, y endurecer las normas y multas para los infractores que causen contaminación por petróleo.
- b. Establecer sistemas de observación cada vez más sofisticados (incluidos sistemas de comunicación por satélite) para detectar y monitorear a distancia la génesis y propagación de derrames de petróleo a todas las escalas.
- c. Establecer equipos de lucha contra derrames de petróleo cada vez más eficientes y con capacidad de respuesta instantánea, prestando servicios de emergencia en todo el mundo.
- d. Inversión en investigación científica para encontrar biotecnologías eficientes y confiables para mejorar y acelerar las instalaciones de limpieza de hábitats marinos impactados por el petróleo.
- e. Inversión en la implementación industrial de estas biotecnologías innovadoras.

Participación de los alumnos

1. Discusión para la clase

- a. ¿Cuántos tipos de producción de energía alternativa/verde puedes nombrar?
- b. ¿Cuántos productos químicos elaborados a partir del petróleo crudo puedes nombrar?
- c. ¿Qué crees que pasaría si se produjera un derrame de petróleo cerca de tu casa/ciudad?
- d. ¿Te gustaría ser voluntario para ayudar a la vida silvestre afectada por el derrame de petróleo?

Un marco de educación en microbiología centrado

- e. Analice el principio de un parámetro limitante de la velocidad. ¿Cree que la adición de algo esencial a un proceso que no sea limitante de la velocidad aumentaría la actividad del proceso? Argumente su respuesta utilizando un fertilizante nitrogenado y un biosurfactante como parámetros que influyen en la degradación del petróleo.

2. *Concienciación de los alumnos sobre las partes interesadas*

- a. Cómo podemos reducir nuestra dependencia diaria del consumo de combustibles fósiles
- b. ¿Te gustaría ser un científico o ingeniero ambiental que resuelva el problema de la contaminación global de nuestro planeta?
- c. ¿Se te ocurre alguna manera de cambiar el hecho de que la humanidad moderna depende completamente del petróleo crudo y otros combustibles fósiles? Si es así, ¿cuándo crees que esto sucederá?

3. *Ceremonias*

- a. ¿Cómo diseñaría una barrera biológica de pequeña escala en una zona con filtraciones permanentes de contaminantes (alrededor de muelles y pilotes) o en una zona de recursos ambientales, playas y criaderos de acuicultura en alta mar para protegerlos de derrames de petróleo modestos y de baja escala? ¿Qué se colocaría primero dentro de la barrera biológica?
- b. ¿Cómo puedes reducir el consumo de combustibles fósiles en tu ciudad? ¿Qué sistemas de producción de energía alternativa o ecológica, especialmente adaptados a tu entorno urbano, instalarías?
- c. ¿Qué actividades humanas consumen más petróleo crudo? ¿Cómo podemos minimizar este consumo?

4. *Excursiones*

- a. Visitar una refinería de petróleo, en particular las plantas de tratamiento de aguas residuales allí instaladas, para comprender el papel de los microorganismos hidrocarbonoclasticos (que se alimentan de petróleo) en la degradación del petróleo.
- b. Visitar industrias petroleras y empresas que les prestan servicios para conocer cómo están diseñadas sus actividades para prevenir vertidos accidentales de crudo al medio ambiente.

La evidencia base, lecturas complementarias y material didáctico

1. Head, IM, Jones, DM y Roling, WFM (2006). Los microorganismos marinos se alimentan de aceite. *Nature Reviews Microbiology* 4:173–182, <http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro1348>.
2. Joye, S., Kleindienst, S., Gilbert, J., Handley, K., Weisenhorn, P., Overholt, W. y Kostka, J. (2016). Respuestas de las comunidades microbianas a la exposición a hidrocarburos. *Oceanografía* 29: 136-149, <http://doi.org/10.5670/oceanog.2016.78>.
3. Yakimov, MM, Timmis, KN y Golyshin, PN (2007). Bacterias marinas obligadas a degradar el petróleo. *Current Opinion in Microbiology* 18: 257-266, <http://doi.org/10.1016/j.copbio.2007.04.006>.
4. Yakimov, MM, Bargiela, R. y Golyshin, PN (2022). Calma y frenesí: las bacterias hidrocarbonoclasticas obligadas marinas sustentan el bienestar de los océanos. *Current Opinion in Biotechnology*, 73, 337-345, <http://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.09.015>.

Un marco de educación en microbiología centrado

5. <http://www.killspill.eu/content/kill>
Catálogo de productos y tecnologías de Spill 2012-16
6. <https://www.orbitaleos.com/>
7. <http://www.oilspill-cleanup.com/oilabsorbentboom.html>
8. <http://www.chemtexinc.com/absorbents/booms-sweeps.html>
9. <http://oilguard.org/wp-content/uploads/2010/08/Textile-World-Oilguard-June-16-2010.pdf>

Glosario

Asfaltenos son sustancias moleculares que se encuentran en el petróleo crudo, junto con resinas, aromáticos y los asfaltenos son hidrocarburos saturados. Los asfaltenos están compuestos principalmente de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre con una relación C:H de aproximadamente 1:1,2, dependiendo de la fuente de asfaltenos. La estructura molecular de los asfaltenos es difícil de determinar porque las moléculas tienden a pegarse entre sí en solución. Estos materiales son mezclas extremadamente complejas que contienen cientos o incluso miles de especies químicas individuales. Los asfaltenos no tienen una fórmula química específica: las moléculas individuales pueden variar en el número de átomos contenidos en la estructura, y la fórmula química promedio puede depender de la fuente. Asfaltenos en forma de betún, los productos de las refinerías de petróleo se utilizan como materiales de pavimentación en carreteras, tejas para techos y revestimientos impermeabilizantes en cimientos de edificios.

Bioaumentación o aumento biológico es la adición a sitios contaminados de procariotas. Cultivos (arqueales y/o bacterianos) que poseen un alto potencial metabólico (de degradación) y que son necesarios para acelerar la tasa de descomposición biológica de un contaminante. Los organismos que se originan en áreas contaminadas pueden ser capaces de descomponer los desechos, pero tal vez de manera ineficiente y lenta. La bioaumentación es un tipo de biorremediación en la que se requiere estudiar las variedades autóctonas presentes en el lugar para determinar si es posible la bioestimulación.

Biorremediación En términos generales, se refiere a cualquier proceso en el que se utiliza un sistema biológico (normalmente arqueas, bacterias, microalgas, hongos y plantas), vivo o muerto, para eliminar contaminantes ambientales del aire, el agua, el suelo, los gases de combustión, los efluentes industriales, etc., en entornos naturales o artificiales. La capacidad natural de los organismos para adsorber, acumular y degradar contaminantes comunes y emergentes ha atraído el uso de recursos biológicos en el tratamiento de entornos contaminados.

Bioestimulación Implica la modificación del entorno para estimular la biorremediación de arqueas y/o bacterias existentes. Esto se puede hacer mediante la adición de diversas formas de nutrientes o fertilizantes limitantes y aceptores de electrones, como fósforo, nitrógeno y oxígeno. Alternativamente, la remediación de contaminantes de hidrocarburos en entornos anaeróbicos se puede estimular mediante la adición de donantes de electrones (sustratos orgánicos), lo que permite que los microorganismos autóctonos utilicen estos contaminantes como aceptores de electrones.

Dispersantes químicos. Un dispersante químico es una mezcla de compuestos tensioactivos (ver a continuación) o emulsionantes y solventes (sustancias que disuelven un soluto, dando como resultado una solución) que ayudan a descomponer el petróleo en pequeñas gotas después de un derrame de petróleo. Las gotas pequeñas son más fáciles de dispersar en un volumen de agua y pueden ser biodegradadas más fácilmente por microorganismos que se alimentan de petróleo en el agua.

Fertilizantes. Un fertilizante es cualquier material de origen natural o sintético que se aplica al suelo o al agua en forma de diversas sustancias que los organismos utilizan para sobrevivir,

Un marco de educación en microbiología centrado

crecer y reproducirse. En la mayoría de las prácticas agrícolas y ambientales modernas, la fertilización se centra en tres macronutrientes principales: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), con la adición ocasional de diversos suplementos de micronutrientes.

Combustible fósil El carbón es un material que contiene hidrocarburos que se forma de forma natural en la corteza terrestre durante la descomposición anaeróbica de cuerpos muertos enterrados (plantas y animales), que se extrae y se quema como combustible. La conversión de estos materiales en combustibles fósiles con alto contenido de carbono suele requerir un proceso geológico de millones de años. Los principales combustibles fósiles son el carbón, el petróleo crudo y el gas natural. Los combustibles fósiles pueden quemarse para proporcionar calor para su uso directo (como para cocinar o calentar), para alimentar motores (como los motores de combustión interna de los vehículos de motor) o para generar electricidad.

Bacterias hidrocarbonoclasticas, también conocidas como bacterias degradadoras de hidrocarburos, bacterias degradadoras de petróleo o *HCB*, son un grupo heterogéneo de procariontes que pueden degradar y utilizar diversos compuestos de hidrocarburos, como parafinas y (poli)aromáticos, como fuente principal de carbono y energía. A pesar de estar presentes en la mayoría de los entornos del mundo, varias de estas bacterias especializadas viven en el mar y han sido aisladas de agua de mar contaminada.

Metaloides. Un metaloide es un tipo de elemento químico que tiene una preponderancia de propiedades en entre los metales y los no metales, o que son una mezcla de ellos. No existe una definición estándar de metaloide ni un acuerdo completo sobre qué elementos son metaloides. Los seis metaloides comúnmente reconocidos son el boro (B), el silicio (Si), el germanio (Ge), el arsénico (As), el antimonio (Sb) y el telurio (Te). Cinco elementos se clasifican así con menos frecuencia: el carbono (C), el aluminio (Al), el selenio (Se), el polonio (Po) y el astato (At). A pesar de la falta de especificidad, el término sigue utilizándose en la literatura de la química.

Vía de la β -oxidación. En bioquímica, la β -oxidación es el proceso catabólico por el cual las moléculas de ácidos grasos se descomponen para generar acetil-CoA, que entra en las vías metabólicas y respiratorias centrales, como el ciclo del ácido cítrico, para generar energía. Se denomina así porque el carbono beta (segundo, siguiendo el orden alfabético griego) del ácido graso sufre una oxidación a un grupo carbonilo (-COOH).

Prístino ecosistema. Un ecosistema en es original, intactocondiciones.

Resinas. La mayor parte del petróleo crudo y las resinas vegetales están compuestas por terpenos, una clase de hidrocarburos insaturados con la fórmula $(C_5H_8)_n$. Estos compuestos, que comprenden más de 30.000 compuestos, se clasifican además por el número de carbonos: monoterpenos (C10), sesquiterpenos (C15), diterpenos (C20), por ejemplo.

Compuestos tensoactivos o surfactantes. La palabra "surfactante" es una mezcla de agente tensoactivo, acuñado a partir de los años 1950. Los surfactantes son compuestos que disminuyen la tensión superficial o interfacial entre dos líquidos, entre un gas y un líquido, o entre un líquido y un sólido. Los surfactantes pueden actuar como detergentes, agentes humectantes, emulsionantes o dispersantes.