

# La biorremediación frente al vertido del Exxon Valdez

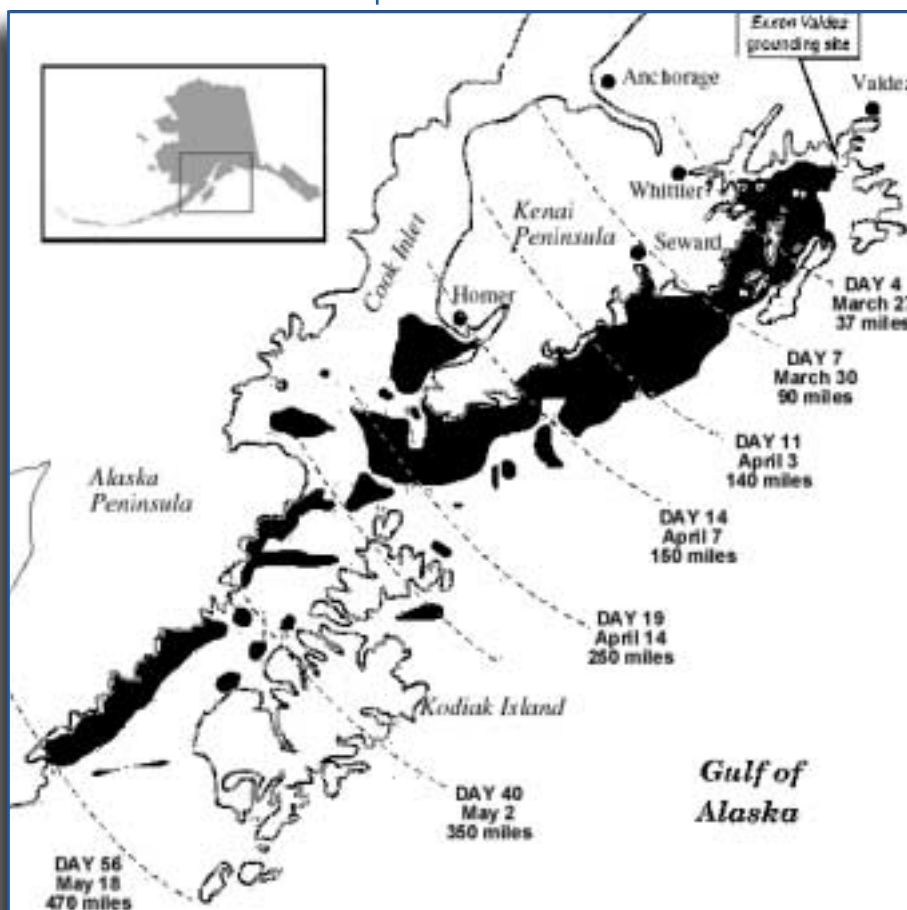
El vertido del Exxon Valdez en las costas de Alaska es una referencia imprescindible para entender cómo se puede afrontar la limpieza definitiva de las costas afectadas por el Prestige. Este artículo explica cómo la biorremediación fue una de las técnicas dominantes en los programas de limpieza usados a largo plazo.

The Exxon Valdez oil spill in Alaska shorelines is an essential reference to understand how definitive clean up works in coasts affected by Prestige fuel spill should be considered. In this article, the author explains the important role that bioremediation techniques had in long-term remediation programmes in Alaska.

José Luis Rodríguez Gallego  
Ingeniero de Minas  
Profesor Asociado

Universidad de Oviedo

Figura 1. Mapa de la zona afectada por el vertido, con la disposición espacio-tiempo que alcanzó.



El 24 de marzo de 1989, un petrolero de más de 300 metros de eslora, llamado **Exxon Valdez** y cargado con un millón y medio de barriles de crudo, navegaba bordeando la costa de Alaska. Había salido horas antes del puerto de Valdez con rumbo a California para depositar su carga en una refinería de la **Exxon**. Una inexplicable cadena de errores cometidos por el guardacostas, el capitán y su tercero llevó al barco hasta los arrecifes de Blight. Aunque intentaron evitarlos, no fue posible y el barco se incrustó en uno de ellos, produciéndose así una enorme grieta en el casco y derramándose parte del crudo. La bahía de Prince William se cubrió con más de 30.000 toneladas de crudo (40.000 según otras fuentes) que pocos días después afectaron a más de 1.000 km de la costa (figuras 1 y 2).

Veintidós años antes, quizá no el primer accidente de este tipo, pero sí el que provocó un aldabonazo importante en la opinión pública, fue el del petrolero **Torrey Canyon** al suroeste de Cornwall, Inglaterra. Entonces, como en 1989, como ahora en 2003, las medidas que se tomaron para minimizar el vertido (en aquel caso utilización de detergentes y bombardeo del barco) fueron terriblemente controvertidas y finalmente, una buena parte de la costa británica, e incluso de la Bretaña francesa, fue seriamente afectada.

Cortesía de Exxon Valdez Oil Spill Trustee Council



Figura 2.  
Fotografía del Exxon Valdez rodeado por barreras de contención horas después del accidente.

Ya en aquellos años sesenta, la idea de que la biodegradación del petróleo vertido en un accidente se podía mejorar con la adición de nitrógeno y fósforo inorgánico había aparecido en los círculos científicos. Uno de sus principales impulsores (**Ronald Atlas**) acabó tiempo después trabajando en la limpieza de las costas de Alaska tras el vertido del Exxon Valdez. En efecto, lo cierto es que esta tecnología comenzó definitivamente a llamar la atención en los años setenta, por entonces reducida a experimentos de laboratorio o a pequeñas demostraciones en el campo. Sin embargo, otro famoso accidente, el del **Amoco Cádiz** en 1978, supuso un nuevo impulso a la investigación. A partir de entonces, el número de fracasos comenzó a disminuir y a finales de los ochenta, la comunidad científica ya tenía la certeza de que si no la mejor, si era una buena manera de enfrentarse a los efectos de los vertidos de petróleo. El último y más importante impulso vendría meses después del accidente del Exxon Valdez.

### Fases de la operación de limpieza

Volvamos a marzo de 1989. Tras el vertido, se puso en marcha lo que con el tiempo se convertiría en la mayor opera-

ción de limpieza en la historia de los Estados Unidos. El proceso se desarrolló en tres fases:

- a) Como respuesta inmediata se utilizaron "skimmers", equipos típicos en la recogida de productos petrolíferos vertidos en el agua. Su funcionamiento se basa en la diferencia de tensión superficial y de peso específico entre hidrocarburos y agua, pudiendo bombearse aquellos hacia depósitos para su recogida. Desgraciadamente, la falta de suficientes medios permitió recoger solo una pequeña cantidad del crudo. Al tercer día se produjo un brusco cambio del tiempo, acompañado de fuertes vientos y oleaje que, estos sí, dispersaron en una franja de cerca de cien kilómetros el vertido, y formaron la emulsión petróleo-agua conocida como "mousse". Tras este contratiempo se hicieron los últimos intentos fallidos de evitar que el petróleo afectara dramáticamente a las costas, pero ni el incendio provocado de parte de la carga del barco, ni las barreras anti-contaminación, ni el uso de dispersantes (ineficaces si hay emulsión) fueron suficientes.
- b) La segunda fase de las tareas consistió en la retirada de la mayor cantidad posible del crudo vertido en las playas. Los procedimien-

tos utilizados fueron principalmente manuales, al igual que ha ocurrido en el caso del **Prestige**, con la diferencia de que en Alaska fueron afectadas playas de grava y guijarros en mucha mayor proporción que las de arena. En algunas zonas se utilizó el lavado a presión con agua caliente como alternativa, procurando desplazar los hidrocarburos de nuevo hacia el agua donde eran recogidos por los *skimmers* (figura 3).

- c) En el tratamiento a largo plazo, se planteó, en primer lugar, el uso de dispersantes, aunque fueron descartados por cuestiones toxicológicas. También se realizó una monitorización de la calidad de las aguas en treinta y cinco emplazamientos; en total unas 23.000 muestras tomadas a lo largo de varios años. Por otra parte, se intentó, con cierto éxito, el lavado físico de las arenas afectadas, pero los equipos empleados producían efectos indeseables en los sedimentos (pérdida de fracción fina, afección del ecosistema, etc.). Agotadas otras posibilidades, y previendo la persistencia a largo plazo de muchas fracciones contaminantes, Exxon y la **EPA** (agencia medioambiental norteamericana) decidieron poner en marcha un programa de investigación para estudiar las posibilidades de utilizar la biorremediación en las costas afectadas.

### Programa de biorremediación desarrollado.

En un primer estadio, se realizaron gran cantidad de muestreos y experimentos de laboratorio que demostraron que la población de microorganismos autóctonos tenía capacidades degradativas de hidrocarburos alifáticos y aromáticos y que la cinética de la degradación podía ser mejorada



Cortesía de Exxon Valdez Oil Spill Trustee Council

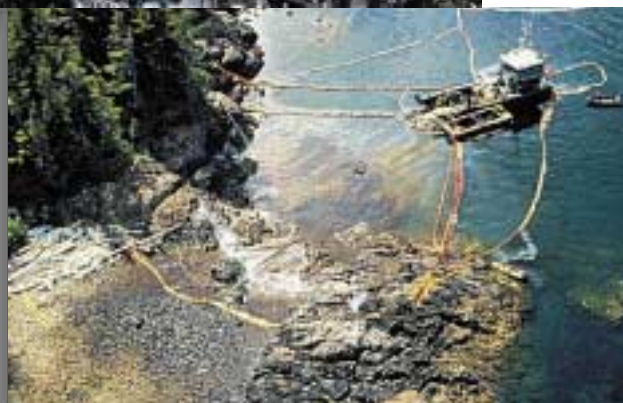


Figura 3. Imágenes de las tareas de limpieza física mediante chorros a presión y "skimmers" en las playas afectadas.

con la adición de nutrientes. La traslación de estos resultados a ensayos de campo, y luego a gran escala, requirió la valoración de otros muchos factores. Algunos de estos son habituales en cualquier tratamiento de biorremediación; por ejemplo, la temperatura, la actividad microbiana y la geoquímica del contaminante, pero otros son específicos de las costas: mareas, salinidad, concentración de nutrientes en la columna de agua, etc.

Los trabajos, poco a poco, se dirigieron a la selección de un fertilizante adecuado, descartadas ya otras alternativas de inoculación y similares. El producto elegido debería en principio haber cumplido las siguientes condiciones:

- Proporcionar nitrógeno y fósforo de forma que los microorganismos tuvieran un fácil acceso a ellos.
- Permanencia en la zona bañada por las mareas, pese a la actividad de éstas y a la existencia de tormentas.
- Ausencia de riesgos toxicológicos para el ecosistema marino.

Los abonos habituales en agricultura fueron desestimados inicialmente, y entre los productos ensayados se escogieron dos para su aplicación: El Inipol EAP22, fertilizante líquido oleofílico y Customblen, fertilizante de liberación lenta en gránulos (tabla 1). Fue el primero de ellos el que finalmente se utilizó a gran escala durante los tres veranos que duraron los trabajos, no tanto porque cumpliera escrupulosamente las condiciones antes expuestas sino porque era el único cuyo suministro en los volúmenes necesarios estaba garantizado (la empresa Elf lo había desarrollado a raíz del accidente del Amoco Cádiz).

Tabla 1. Componentes de los dos fertilizantes utilizados en los programas de biorremediación.

COMPONENTES	FÓRMULA QUÍMICA	FUNCIÓN
<b>Inipol EAP 22</b> Ácido oleico Lauril fosfato 2-Butoxietanol Urea Agua	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ $[\text{C}_{12}\text{H}_{25}(\text{OC}_2\text{H}_4)_3\text{O}]_3\text{PO}$ $\text{HO}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_4\text{H}_9$ $\text{NH}_2-\text{CO}-\text{NH}_2$ $\text{H}_2\text{O}$	Fase hidrofóbica Fuente de fósforo y surfactante Surfactante y estabilizador de la emulsión Fuente de nitrógeno Disolvente
<b>Customblen</b> Nitrato de amonio Fosfato de calcio Fosfato de amonio	$\text{NH}_4\text{NO}_3$ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	Fuente de nitrógeno Fuente de fósforo Fuente de nitrógeno y fósforo

Hoy en día sabemos que los sedimentos de la zona eran claramente deficitarios en nitrógeno y fósforo, por lo que, después de una fase de limpieza por medios físicos, la biodegradación propiciada por los microorganismos autóctonos estimulados con el fertilizante fue efectiva. Así lo atestiguan las evidencias visuales que, frente a ensayos de control, mostraban que las rocas se limpiaban mucho antes si se les aplicaba fertilizante. Sin embargo, los muestreos realizados en aquel momento chocaron con la tremenda heterogeneidad en cada emplazamiento tratado y entre distintos emplazamientos. Tanto es así, que algunos investigadores, obsesionados por la variabilidad de los resultados, propusieron que se añadiera más petróleo en determinados lugares para unificar los puntos de partida, idea rápidamente descartada. En suma, se temió que en realidad no se estaba consiguiendo nada y así se recogió en los primeros informes de las comisiones científicas.

Los esfuerzos de los investigadores se condujeron entonces a establecer una monitorización estándar de la biodegradación, mediante un cociente entre la degradación de los alcanos lineales de 17 y 18 átomos de carbono frente a la de dos biomarcadores habituales como son el pristano y el fitano, hidrocarburos mucho más difícilmente biodegradables. Sin embargo, el método no funcionó, ya que los microorganismos presentes en las pla-



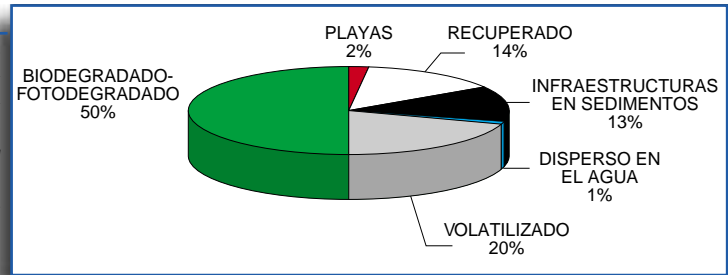
yas se demostraron capaces de degradar también estos hidrocarburos ramificados, si no tan rápidamente como los lineales, sí de una manera importante.

La solución la aportó la geoquímica del petróleo. Desde hacía bastante tiempo se venían utilizando algunos otros biomarcadores, con el objetivo de caracterizar tipos de petróleo en yacimientos profundos. Uno de ellos era el 17a(H), 21b(H)-hopano, terpeno no biodegradable, que permitiría establecer una relación segura frente a los hidrocarburos del petróleo biodegradables. Por fin, se consiguió verificar estadísticamente la degradación biológica gracias al uso de este hopano. Además, los datos obtenidos mostraron que los niveles de nitrógeno en las aguas intersticiales eran el factor limitante de la biodegradación, al menos con el tipo de materiales geológicos que hay en las playas de Alaska. Estudios posteriores han demostrado que la tasa de oxígeno también es un factor fundamental, por lo que el volteo o suave arado en zonas arenosas es útil.

### Conclusiones

Oficialmente, las labores de limpieza terminaron en 1992. Años después sabemos que la biorremediación fue una herramienta muy importante, que demostró una efectividad en principio no exenta de dudas. A pesar de todas las imperfecciones, supuso un importante ahorro y una menor

Figura 5. Estimación de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) sobre la distribución del crudo vertido en 1992, más de tres años después del accidente.



agresión al ya dañado ecosistema frente a cualquier otra técnica que se hubiera empleado para la remediación a largo plazo. De alguna forma, la experiencia puso de manifiesto, una vez más, que el petróleo es un producto natural, y que si su inoportuna aparición en tiempo y lugar inadecuado daña los ecosistemas y destruye vida, hay otro tipo de vida microscópica que puede verse favorecida. Fomentar su acción, biorremediar, no es más que aprovecharse del ciclo del carbono (figura 5).

Sea como fuere, e independientemente de las técnicas que se utilizaron, el desastre del Exxon Valdez (como Minamata, como Chernobyl, como Bhopal, como Aznalcóllar, ¿cómo el Prestige?) abrió las puertas a una nueva percepción sobre los riesgos que comporta nuestra relación con la naturaleza. Así, actualmente se realizan en Alaska evaluaciones periódicas, páginas web y varios programas educativos y de investigación a propósito de la experiencia del Exxon Valdez. Tampoco han faltado las compensaciones económicas a los afectados, ni los cambios legislativos. Tampoco faltan los voluntarios, científicos y no científicos, que siguen trabajando en recuperar el petróleo que aún duerme en muchos sedimentos.

### Bibliografía seleccionada

- Bragg, J.R.; Prince, R.C.; Harner, E.J. y Atlas, R.M.** (1994). Effectiveness of bioremediation for the Exxon Valdez oil spill. *Nature* 368: 413-418.
- Bragg, J.R. et al.** (1992). Bioremediation for shoreline cleanup following the 1989

Alaskan oil spill Exxon Company, U.S.A., Houston, TX.

- Head, I.M. y Swannell, R.P.** (1999). Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in marine habitats. *Curr. Op. Biotechnol.* 10: 234-239.

- Kelso, D.D. y Kendziorek, M.** (1991). Alaska response to the Exxon Valdez oil spill., *Environmental Science and Technology*, 25, 202-209.

- Pain, S.** (1993). The two faces of the Exxon disaster, *New Scientist*, 138, 11-13.

- Prince, R.C.** (1997). Bioremediation of marine oil spills. *Tibtech* 15:158-160.

- Pritchard, P.H. y Costa, C.F.** (1991). EPA's Alaska oil spill bioremediation project. *Environmental Science and Technology*, 25, 3, 372-379.

- Pritchard, P.H.** (1997). Cuestiones reglamentarias y de eficacia en la biorrecuperación de los derrames de petróleo: experiencias con el derrame del Exxon Valdez en Alaska. En: **Levin, M. y Gealt, M.A.** -editores- *Biotratamiento de residuos sólidos y peligrosos*. Cap. 12, pp 273-311. McGraw Hill. Madrid.

- Röling, W.F; Milner, M.G.; Jones, D.M.; Lee, K.; Daniel, F.; Swannell, R.P. y Head, I.M.** (2002). Robust hydrocarbon degradation and dynamics of bacterial communities during nutrient-enhanced oil spill bioremediation. *Applied and Environmental Microbiology* Vol. 68 (11), pp 5537-5548.

- Swannell, R.P; Lee, K. y McDonagh, M.** (1996). Field evaluations of marine oil spill bioremediation. *Microbiological Reviews* vol. 60 (2), pp 342-365.

Figura 4. Operarios aplicando INIPOL EAP22).

