

# Evaluación y aplicación de técnicas de biorremediación en tres playas de la costa de Muxía

Ante la magnitud del desastre ocasionado por el accidente del Prestige, el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas acordó financiar un proyecto para evaluar el potencial de las técnicas de biorremediación como método de recuperación de las costas afectadas. Las Escuelas de Minas de Madrid y de Oviedo con experiencia en este campo fueron las encargadas del desarrollo del proyecto. En lo que sigue se hablará tan solo del proyecto, actualmente en marcha y con unos primeros resultados que permiten ser muy optimistas.

Due to the extension of the disaster caused by the accident of the Prestige, the "Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas" agreed to fund a project to evaluate the potential of the bioremediation techniques as a method of recovery of the affected coasts. The Schools of Mines of Madrid and Oviedo, which have experience in this field, are in charge of this project. This paper deals with the project, which at this moment is in progress with some results that are very encouraging.

Juan F. Llamas Borrajo  
Dr. Ingeniero de Minas  
Catedrático  
E.T.S. de Ingenieros de  
Minas de Madrid

José Luis Rodríguez Gallego  
Ingeniero de Minas  
Profesor Asociado  
E.T.S. de Ingenieros de  
Minas de Oviedo

Praia Moreira.



En antes de pasar al proyecto propiamente dicho, quisiéramos comentar otros aspectos, no puramente técnicos, relacionados con el mismo.

Dentro del proyecto, se ha desarrollado en Vigo, en el edificio del Rectorado, durante los días 25 a 27 de marzo, el Curso sobre "**Biorremediación aplicada a los productos petrolíferos**" al que asistieron 49 alumnos, de ayuntamientos, empresas, periodistas, profesores, químicos, biólogos, ... si bien la mayoría eran de la propia Escuela de Minas. Muchos de los alumnos del curso ya han ma-

nifestado su interés en colaborar en el desarrollo del proyecto, y esperamos que sea del curso de donde salgan los técnicos que probablemente tengan que aplicar estas técnicas en otros puntos de la costa.

A su vez, los alumnos de tercer curso de la **Escuela de Minas de Madrid** que cursan las asignaturas de "Geoquímica" y "Análisis Instrumental", junto con los de "Fundamentos de Geoquímica" de la titulación de Ingeniero Geólogo, van a realizar este año sus prácticas de laboratorio en las tres playas seleccionadas. Estas prácticas consistirán en la toma de datos analíticos en campo y en su interpretación, y se llevarán a cabo en dos períodos, del 11 al 14 y del 26 al 30 de abril. Para ello se ha contado con la inestimable colaboración de la **Xunta de Galicia** y del **Ayuntamiento de Muxía**; así como, con la necesaria coordinación de la Jefatura de Estudios de la Escuela de Minas de Madrid.

#### Introducción y grupo de investigadores

La biorremediación es una herramienta que puede ser utilizada con eficacia en ciertos entornos contaminados y cuyos mayores éxitos documentados se han obtenido frente a vertidos de hidrocarburos. Es un proceso lento, pero económico, si se efectúa adecuadamente, y no es agresivo con el medio, ya que los contaminantes son mineralizados por los microorganismos, siendo incorporados en la biomasa. No existen en nuestro país experiencias directas encaminadas a evaluar la eficacia de los métodos de biorremediación de ambientes litorales contaminados por vertidos de hidrocarburos de petróleo, por lo que el accidente del **Prestige** constituye una circunstancia idónea para evaluar, aprovechando



Coido de Cuño.

la experiencia acumulada en otros casos como el del **Exxon Valdez**, la eficacia de los métodos de biorremediación para afrontar este problema.

El proyecto presentado pretende desarrollar este aspecto mediante la realización de un estudio amplio a escala de laboratorio, a escala piloto sobre el terreno, y, si se considera procedente, a escala real que permita la evaluación y selección de las técnicas de biorremediación (bioestimulación o bioaumentación) más adecuadas para la degradación de los hidrocarburos que permanezcan en las playas afectadas después de la finalización de las labores de limpieza. Para ello, se realizará una caracterización químico-física y microbiológica de los emplazamientos, seguida del aislamiento, identificación y caracterización de microorganismos con capacidades degradativas a partir del ambiente contaminado. A partir

de aquí, se elaborará un protocolo práctico de biorremediación (bioaumentación y/o bioestimulación) en el que se consideren conjuntamente los aspectos químicos y microbiológicos (selección de las mezclas bacterianas, si se aplican, concentración, complementación nutricional del medio, si es necesario) y de operación: diseño, aplicación de los productos necesarios y medida de los parámetros críticos durante el proceso, concretamente concentración de bacterias, sean autóctonas o alóctonas, y desaparición del contaminante. El proceso de aplicación de esta tecnología sobre el terreno llevará un escrupuloso control de todo tipo de riesgo biológico en el que se pudiera incurrir.

Los trabajos se desarrollarán en las calas y playas de Arnela, Moreira y Coido de Cuño, situadas todas ellas al sur de Muxía; por lo que el conocimiento del entorno costero y de su relación con los factores principales que afectan a la biorremediación se considera capital. Por último para esta introducción, pero no menos importante, creemos que el proyecto propone un abordaje interdisciplinar, lo que es decisivo para abordar de una forma integral todos los objetivos del mismo. Así el grupo de investigadores es variado y abarca, a nuestro entender, a



Praia Moreira.

profesionales competentes en los muchos aspectos contemplados, sin descartar ni posteriores incorporaciones ni toda la ayuda que las administraciones competentes puedan suministrar:

- **Juan F. Llamas Borrajo** y **M<sup>a</sup>. Jesús García Martínez**, Ingenieros de Minas del Dpto. de Ingeniería Química y Combustibles de la **Universidad Politécnica de Madrid**.
- **Jorge Loredo Pérez** y **José Luis Rodríguez Gallego**, Ingenieros de Minas del Dpto. de Explotación y Prospección de Minas de la **Universidad de Oviedo**.
- **Jesús Sánchez Martín** y **Ana Isabel Peláez**, Dpto. de Biología Funcional de la Universidad de Oviedo.
- **Trinidad de Torres Pérez-Hidalgo** y **José Eugenio Ortiz Menéndez**, Ingenieros de Minas del Dpto. de Ingeniería Geológica de la Universidad Politécnica de Madrid.
- **Enrique Chacón Oreja**, Ingeniero de Minas del Dpto. de Matemática Aplicada a los recursos Naturales de la Universidad Politécnica de Madrid.

Entre los medios, además de los propios de los departamentos involucrados, se cuenta con los del **Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular (LEB)** (<http://www.minas.upm.es/leb.htm>). También se está en contacto con otros expertos de la Unión Europea y se espera contar con la colaboración de la **Universidad de Santiago de Compostela**, en concreto con el equipo del profesor **Felipe Macías**, quienes irían asumiendo mayor protagonismo de las actuaciones futuras.

#### Metodología general

En este apartado se describirán brevemente los procedimientos analíticos, de muestreo y de caracterización in situ que se utili-



Arnela.

zarán en los trabajos; más adelante se detallará, en concreto, el tipo de trabajo específico que se utilizará en cada playa.

En general, el modelo de trabajo que se siga intentará reproducir en sus vertientes más exitosas los métodos empleados en la remediación del vertido del Exxon Valdez. Para ello, en un primer momento, ya se ha recopilado la información bibliográfica y los informes existentes sobre el empleo de la biorremediación tras el citado accidente. Por otra parte, la metodología utilizada se basará en técnicas químicas y microbiológicas de probada eficacia en trabajos de investigación similares en suelos o sobre residuos pesados de refinería realizados en los laboratorios de la Universidad de Oviedo y de la Escuela de Minas de Madrid.

El objetivo del proyecto es la evaluación, selección y aplicación de las técnicas de biorremediación más adecuadas para la degradación de los hidrocarburos que, después de la finalización de las labores de limpieza física, permanecen en las playas afectadas por el fuel objeto del proyecto.

#### **Consideraciones de partida**

Como criterio general se considera que el proceso puede llevarse a cabo (con diferencias según se trabaje sobre roca o sobre arena) con la combinación de un producto surfactante o dispersante que permita la emulsión de los hidrocarburos y un fertilizante

que aumente la presencia de nitrógeno y fósforo disponible. Este enfoque puede permitir que se reduzca la concentración de hidrocarburos y evitar la acumulación definitiva de los no degradados en el sedimento marino. Pese a ser este el procedimiento general más recomendado, hay más posibilidades que deben estudiarse (por ejemplo, en el caso del **Exxon Valdez** se utilizó el Inipol por ser el único producto comercialmente disponible en las cantidades necesarias).

La influencia de la temperatura va a ser obvia en cuanto a que en los meses más cálidos la acción microbiana se reforzará, aunque pueden aparecer escenarios adicionales si el fuel se licúa con las altas temperaturas. La dinámica marina lleva meses ayudando a retirar residuos de la costa, colabora en la oxidación, etc., aunque, por otro lado, fuertes mareas pueden impedir la aplicación de productos o evitar que se fijen los microorganismos si se efectúa algún tipo de bioaumentación, por lo que se idearán sistemas para evitar este problema.

La biorremediación ha tenido éxitos y fracasos en playas de arena y en zonas rocosas. En cuanto a playas de piedra o acantilados, el problema operacional es grande ya que no se tienen las facilidades de muestreo, analítica, etc. que hay en una arena, la aproximación requiere fuentes oleofílicas de nutrientes y biosurfactantes, siendo conscientes de que la monitorización de la eficiencia del proceso de biorremediación deberá basarse en el estudio de los biomarcadores y de que la evaluación global deberá tener un marcado componente visual, que afectará al diseño del muestreo (estratificado). En las zonas arenosas todo es más fácil (se puede plantear in situ, o incluso ex situ en función de las mareas, el me-

Praia  
Moreira.

dio es más o menos homogéneo, es fácil parcelar, etc.).

En lo que se refiere a los plazos, es imposible predecir la efectividad que van a tener los tratamientos así como su duración. Cabe recordar que en las costas afectadas por el vertido del Exxon Valdez la biorremediación ocupó tres o cuatro períodos de varios meses (el problema eran allí las bajas temperaturas) y no se cerró el tratamiento hasta más de tres años después del vertido; es más, el informe final sobre el conjunto de las labores de limpieza no se publicó hasta 1997 (ocho años después del vertido). En principio, la financiación actualmente existente permitiría un trabajo que no iría mucho más allá del verano, tiempo que consideramos suficiente para completar los objetivos marcados.

### **Protocolo general**

Una vez obtenidos todos los datos del muestreo (ver detalles para cada playa en el punto 3 y metodología a partir de 2.3), se dividirán en varias parcelas las zonas seleccionadas. En ellas se procederá a la realización de, al me-

nos, los siguientes experimentos de biorremediación:

- Bioaumentación con bacterias autóctonas, mediante un consorcio preparado con parte de las aisladas en la primera fase.
- La experiencia existente y la prudencia necesaria no recomiendan la utilización productos con "bacterias comerciales", por lo que se descarta.
- Bioestimulación mediante fertilizantes (la selección de éstos es un punto clave de todo el trabajo). Probablemente más importante que su composición química puede ser su "físico" y su relación con las mareas. En estos momentos ya se han



Praia Moreira.

iniciado contactos con los suministradores para conseguir cantidades pequeñas con las que realizar los ensayos. Las posibilidades son muy diversas: briquetas, gránulos ("Customblen"), "Inipol" (fertilizante oleofílico líquido), Sea Weed (proyecto basado en algas con efecto surfactante), surfactantes de origen químico biodegradables, sales minerales y otros productos.

- Experimentos de control.
- Bioaumentación con bacterias procedentes de la colección del grupo que lleva adelante el proyecto, aisladas todas ellas en zonas de vertidos de productos similares en diferentes puntos de la Península. En este caso, se llevará un escrupuloso control de todo tipo de riesgo biológico en el que se pudiera incurrir, según se indica al final del punto 2.6.

La monitorización que se realice con posterioridad al inicio de los ensayos abarcará los siguientes parámetros:

- Niveles de nutrientes en el "agua de poro" de las playas para controlar la permanencia de éstos y para evitar la eutrofización.
- Control de la dinámica costera.
- Actividad microbiana.
- Degradación de hidrocarburos (con biomarcador: Hopano; medida de TPH, PAHs y fraccionamiento en alifáticos, aromáticos y resinas+asfaltenos).

### **Determinaciones 'in situ'**

Para la determinación de parámetros ambientales sobre el terreno, se cuenta con los siguientes equipos:

- Terminales y electrodos de todo tipo, para la medida de pH, Eh, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y temperatura.



Arnela.

- Métodos geoquímicos de campo, para medir la presencia de hidrocarburos volátiles y semivolátiles (TCD, semiconductores, cromatógrafo portátil, FID y PID).
- Espectrofotómetros de campo, para la determinación de contenido en nutrientes y de metales.
- Se ensayará el uso de lámparas UV para el cartografiado de las zonas contaminadas.
- GPS para georeferenciar toda la información.

En la primera fase está previsto contar con la colaboración de los alumnos de las asignaturas de "Análisis Instrumental", "Geoquímica" y "Fundamentos de Geoquímica" de las titulaciones de Ingeniero de Minas e Ingeniero Geólogo, de la Universidad Politécnica de Madrid, para la realización de dos campañas intensivas de determinaciones "in situ".

#### **Procedimientos de muestreo y de diseño de experimentos**

- Los muestreos que se realicen, se efectuarán con sondas manuales tipo Auger o semimecánicas ("rusa" o muestreadores de sedimentos). Los procedimientos seguirán mallados regulares, en la medida de lo posible, para facilitar el tratamiento estadístico y geoestadístico de los datos.
- Las muestras de sustratos contaminados (arena, roca, fuel puro, suelo, agua etc.)

con destino al aislamiento de microorganismos especializados se tomarán en condiciones estériles, siguiendo un protocolo estadístico que asegure su representatividad.

- Los experimentos que se realicen en las diferentes parcelas acotadas para ello, contarán con un diseño estadístico previo y con control del mismo tipo. También se tratará de conseguir que los posibles efectos positivos sean visibles y comparables con zonas de control no tratadas.

#### **Métodos químicos**

- Cuando se considere necesario, se realizará una caracterización de la fracción inorgánica de las muestras, para lo que se utilizará analítica tipo plasma (ICP), absorción atómica y rayos X.
- La medida de hidrocarburos totales (TPH) y contenido en hidrocarburos poliaromáticos (PAHs), se realizará por medio de espectrometría infrarroja (IR-FT) y el cálculo de índices de biodegradación, mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS), con respecto a biomarcadores como pristano y fitano, en una primera aproximación, y hopanos en una segunda más fina. Esta última técnica también permitirá determinar el fraccionamiento actual del fuel y el estudio de cada una de las fracciones (alifáticos, aromáticos, resinas y asfaltenos).

#### **Métodos microbiológicos**

- A partir de las muestras recogidas, se llevarán a cabo diluciones en agua marina estéril y siembra en placas de distintos medios sólidos (sintético, semisintético y complejo). De esta forma, podremos realizar recuen-

tos del número de bacterias presentes en las distintas muestras. Por otra parte, se aislará el ADN total a partir de las mismas muestras, lo que nos permitirá después llevar a cabo un estudio más completo de todas las bacterias, incluyendo aquellas que no crecen en los medios de cultivo.

- Identificación mediante técnicas moleculares, que consisten esencialmente en la amplificación del gen del ARN ribosomal 16S, utilizando oligonucleótidos conservados de eubacterias como iniciadores en reacciones de amplificación en un equipo de PCR. Una vez amplificado el fragmento, se procederá a su secuenciación en un equipo automático multicapilar. Las secuencias obtenidas serán comparadas a otras de especies conocidas mediante búsquedas BLASTN en bases de datos GenBank + EMBL + DDBJ + PDB, utilizando el Web-Service NCBI ([www.ncbi.nlm.nih.gov/blst](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blst)).
- Se obtendrán imágenes de las cepas mediante microscopía láser confocal y con otras técnicas de microscopía óptica.
- La identificación de las bacterias es una información muy valiosa que nos permitirá "inferir" en una primera aproximación sus capacidades degradativas, ya que consultaremos en las bases de datos generales (PubMed: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi>; **Scirus**: <http://www.scirus.com/>) y en las bases de datos de microorganismos degradativos (<http://bsd.cme.msu.edu/bsd/index.html>, **Universidad de Michigan**; <http://umbbd.ahc.umcn.edu>, **Universidad de Minnesota**) todo lo referente a los distintos géneros y especies aislados en nuestro trabajo.
- La medida de la cinética de los procesos degradativos y evaluación inicial de la posible producción de biosurfactantes por las bacterias selec-

cionadas. Para analizar la capacidad degradativa de las bacterias utilizaremos medios de cultivo sintéticos, en los que la fuente de carbono serán los diferentes residuos del fuel obtenidos en los lugares contaminados.

- El crecimiento bacteriano se analizará espectrofotométricamente mediante la medida de la densidad óptica a 660 nm. En paralelo, se realizarán diluciones y siembra en placa, para analizar el número de viables. De esta forma se obtendrá una relación DO/número de viables para cada bacteria, que relacionaremos a lo largo del crecimiento con la utilización del petróleo y/o sus componentes como fuente de carbono.
- Para medir el potencial biosurfactante o bioemulsionante utilizaremos un ensayo que consiste en la medida del volumen ocupado por la fase acuosa (medio de cultivo libre de células) en una mezcla con hidrocarburos (por ejemplo, diesel), utilizando como control un volumen equivalente de agua.
- En el diseño de mezclas de bacterias adecuadas para ensayos de bioaumentación, se utilizarán los microorganismos aislados en las playas y los que dispone el grupo solicitante, por trabajos previos.
- En el caso en el que se liberaran en el medio contaminado microorganismos alóctonos, su posible carácter patógeno se analizaría previamente, mediante un doble procedimiento:
  - a) La correcta identificación del microorganismo en el laboratorio permitirá contrastar su identidad con la bibliografía y las bases de datos disponibles, con lo que se descartaría el carácter patógeno o algún otro problema, siempre antes de su utilización.

b) Si hubiera algún tipo de duda o se requiriera certificación, el grupo que desarrolla el proyecto ha colaborado anteriormente con microbiólogos especializados en patogeneidad bacteriana del **Hospital Central de Asturias**, por lo que se contaría con su apoyo para realizar las pruebas que fueran necesarias.

#### Propuestas para cada emplazamiento

Realizada una primera visita a la zona y teniendo en cuenta las consideraciones del personal que allí ha trabajado durante estos meses, se proponen las siguientes actuaciones.

#### **Playa de Arnela de Muxía**

##### *Descripción*

Se trata de una cala en forma de semicírculo compuesta por sedimentos de todo tipo, aunque fundamentalmente abundan arenas y bolos de tamaño medio. El acceso se realiza por una pista "ad hoc" realizada con escoria suministrada por **Ferroatlántico**. La contaminación se aprecia en las rocas más alejadas del batir de la marea, en pequeños grumos aislados sobre la arena y, en ésta última, también en partículas finas que se entremezclan con el grano mineral.

##### *Valoración*

Parece un lugar adecuado, por su pequeño tamaño, para efectuar un muestreo exhaustivo y, por su moderada contaminación, para realizar ensayos de biorremediación; además, el acceso de maquinaria es complicado, por lo que otros métodos tendrían serios problemas. Por otra parte, el uso turístico del emplazamiento se nos ha sugerido reducido, por lo que no habría apreturas de tiempo de cara al verano.

##### *Programa de trabajo*

a) Arenas. En un primer momento, se efectuará un muestreo muy detallado (con una malla de 10 por 10 metros) de la zona arenosa. La caracterización in situ se realizaría con los equipos de medida directa ya descritos y se estudiaría, mediante sondas manuales, el sedimento en profundidad. También se tomarían muestras en el número necesario para la caracterización química y microbiológica. En posteriores estancias, se verificarían los resultados del muestreo en algunos puntos para tener así una idea clara de la variabilidad de la situación. En una siguiente fase se plantearía un diseño de

Coido de Cuño.



experimentos con varias pequeñas parcelas destinadas a probar distintos métodos de biorremediación. Las parcelas se dispondrían en líneas paralelas a partir de la zona intermareal, de modo que pudiera evaluarse el efecto del lavado; probablemente se utilizarían fertilizantes de liberación lenta, con un dispositivo de lastre o de fijación para que no fueran arrastrados por la marea. Se efectuaría un control periódico a partir de ese momento.

- b) Rocas. Se realizará un planteamiento similar al que se presenta para la playa de Moreira (ver más adelante), aunque, teniendo en cuenta la pequeña cantidad de estas, tendrá una complejidad menor. Los resultados serán útiles para contrastar con los de Moreira.

#### *Plazos*

Es imposible avanzar plazos precisos, aunque sí disposición de los primeros trabajos. En este sentido, durante el mes de abril se efectuaría el muestreo y se tomarían las decisiones, con la adquisición de productos o la elaboración de "biorremedios" en el laboratorio, para parcelar en mayo, y que el proceso de biorremediación coincida con la época más favorable: temperaturas altas, con la consiguiente fluidificación del fuel, menores precipitaciones y alteraciones de las mareas.

#### **Coido de Cuño**

##### *Descripción*

Es una playa bastante abierta y con una franja de suelo en la parte de atrás. El acceso se realiza fácilmente en vehículos adecuados. La playa se compone de bolos de medio y gran tamaño que se encuentran muy afectados por el fuel, con

*Praia Moreira.*



la excepción de los que aparecen en la zona batida con mayor fuerza por el oleaje en mareas altas; no obstante, en esta zona se observan grumos aislados de fuel.

##### *Valoración*

Las condiciones observadas no parecen favorables a la implementación de tratamientos de biorremediación (mucho fuel, mucho oleaje, ausencia de variedad de sedimentos, no hay aportes de materia orgánica). En consecuencia, se sugiere que se continúe la limpieza física de la playa mediante hidrolimpieza o cualquier otro método; tras esa fase, se podría reevaluar la situación de la playa y, entonces sí, aplicar técnicas de biorremediación, con la experiencia acumulada en los otros dos emplazamientos.

No obstante todo lo anterior, sí se sugiere la "preservación" en el estado actual de la zona de suelo contaminado que se encuentra tras la playa y que fue afectado por el fuel, puesto que constituye un importante reservorio de cepas adaptadas, que pueden ser de utilidad. De otro modo, también esta zona de suelo y los accesos a la playa podrían ser descontaminados con cierta facilidad con un "landfarming", una vez finalizado el resto de las labores.

#### **Playa de Moreira**

##### *Descripción*

El acceso se realiza por carretera y existe un importante espacio, aparentemente no contaminado, en la parte de atrás de la playa. Se trata de un emplazamiento bastante abierto al mar, en el que aparece una gran diversidad de ambientes contaminados: arena fina aparentemente limpia y batida por las olas, sedimento más grueso que "rellena" el fondo de la playa, amplias zonas de bolos y de roca expuesta bastante contaminada, un pequeño cauce de agua dulce que atraviesa la zona contaminada, etc. Las observaciones allí efectuadas, así como las primeras muestras recogidas, sugieren la presencia de actividad microbiana.

##### *Valoración*

Aunque algunas zonas de la playa (las rocas más manchadas) pudieran requerir la utilización de medios físicos de limpieza, el resto puede considerarse un excelente laboratorio para la puesta en práctica de ensayos de biorremediación, tanto en arenas (si es que se demuestran contaminadas), como en roca.

##### *Programa de trabajo*

- a) Arenas. En un primer momento, se efectuaría un

muestreo muy detallado (con una malla metro a metro) de la zona arenosa de las mismas características que el de la primera de las playas consideradas. La caracterización in situ se realizaría con los equipos de medida y se estudiaría mediante sondas manuales (puede tener interés realizar una calicata en la zona de roca para estudiar el lecho). También se tomarían muestras en el número necesario para la caracterización química y microbiológica. Finalmente, en posteriores estancias se verificarían los resultados del muestreo en algunos puntos, para tener así una idea clara de la variabilidad de la situación.

Si, según los resultados obtenidos, se considera necesario, en la siguiente fase se plantearía un diseño de experimentos con varias pequeñas parcelas destinadas a probar distintos métodos de biorremediación, al modo en que se trabajará en la cala de Arnela.

- b) Rocas. La diversidad de tipo de rocas en cuanto a tamaño, orientación respecto al mar, grado de afectación, contacto con agua dulce o salada y/o sedimentos más finos hacen muy adecuada la zona sur de la playa para efectuar ensayos de todo tipo. Sin necesidad

de realizar experimentos de laboratorio previos, se puede parcelar y aplicar alguno de los productos bioestimulantes disponibles en el mercado (por ejemplo el Inipol EAP22 que tan buenos resultados ofreció en Alaska); sí es necesario un adecuado diseño de los experimentos y un seguimiento continuado, así como demostrar la existencia de bacterias en las rocas afectadas. Simultáneamente, se prepararía en el laboratorio algún otro tipo de producto bioestimulante que pudiera ser de utilidad.

Si se realizara algún experimento de bioaumentación, sería en una fase posterior una vez aisladas, identificadas y demostrada la inocuidad de bacterias aisladas "in situ", o bien, en todo caso, de algunas de la colección del grupo.

#### Plazos

Si los productos necesarios se consiguen con rapidez y se efectúa una aplicación inicial en algunas parcelas en abril (en roca), podría haber resultados –positivos o negativos, y en todo caso visibles a simple vista– a finales de mayo. En función de estos primeros resultados y de la valoración de la situación de las arenas se plantearía el resto de los trabajos.

#### Posibilidades de actuación adicionales y necesidades de cubrir

La financiación disponible (27.000 euros) permite afrontar muy ajustadamente el trabajo propuesto, y la aparición de imprevistos puede provocar serios problemas. Una situación más holgada se pretende conseguir mediante solicitud de proyectos en convocatorias oficiales, pero de momento estas no se han producido. De conseguirse financiación adicional o colaboración extensa por parte de los organismos competentes, se plantearían las siguientes actuaciones y mejoras adicionales:

- Se dispondría una persona fija en la zona que controlara los procesos y que redujera el número de viajes a la zona (necesariamente, de frecuencia semanal, en algunas fases).
- Se podrían adquirir equipos adicionales a los que se dispone para complementar y mejorar el trabajo (Petro-Flag para medida de hidrocarburos 'in situ' y respirómetro para controlar la actividad bacteriana).
- Se podría realizar una colaboración con investigadores británicos y alemanes de amplia experiencia, con los que ya se tiene contacto, para la aplicación de productos biosurfactantes.
- Se podría abordar el estudio de la evolución del fuel depositado en el fondo marino cercano a la costa, para lo que ya se han establecido contactos con **Océano Alfa**, una organización de buceadores profesionales que ha estado trabajando en la zona (<http://www.oceanoalfa.com>).
- Los aspectos de valoración de riesgos, dinámica de las playas y, en general, todo el seguimiento geoquímico y monitorización se podrían realizar con mucha mayor holgura, disponiendo de personal fijo en la zona.

Praia Moreira.

